

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Мусакан Алмас Муратбекұлы

«Алатау ауданында PON технологиясын пайдалану»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

_____ И.Сырғабаев

« ____ » _____ 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Алатау ауданында PON технологиясын пайдалану»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

А.М.Мусакан

Пікір беруші
техн.ғыл.канд.,
АУЭС доценті

_____ А.О.Касимов

« 22 » _____ 05 _____ 2020 ж.

Ғылыми жетекші
PhD докторы,
сениор-лектор

_____ А.Хабай

« 22 » _____ 05 _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

И.Сыргабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Мусакан Алмас Муратбекұлы*
Тақырыбы «Алатау ауданында PON технологиясын пайдалану»
Университет ректорының «27» қаңтар 2020 ж. № 762-б бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «10» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Қол жеткізу желілерінің жұмыс режимдерінің ерекшеліктері; 2) PON желісінің стандарттары; 3) Оптикалық қатынау желілерінің архитектуралық ерекшеліктері; Оптикалық қатынау желілерінің технологиялық сипаттамалары.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) PON желісінің типтік құрылымы; ә) PON технологиясының артықшылықтары; б) Абоненттік қатынау құру технологиялары; в) PON физикалық деңгейі үшін бағалау есебі; г) Оптикалық сигналдар қуатын есептеу

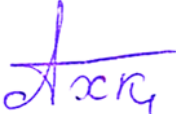
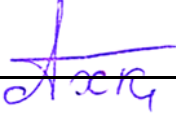
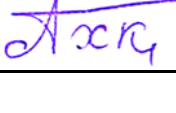
Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс): 1) Оптикалық қатынау желілерін құру архитектурасы; 2) PON технологиясы бойынша абоненттік қатынау желісінің құрылымдық сұлбасы; 3) PON технологиясын пайдаланумен байланысты ұйымдастырудың типтік сұлбасы.

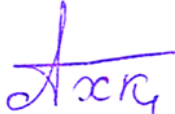
Ұсынылатын негізгі әдебиет 19 атау: 1) *1. Оптические мультиплексоры и демуптиплексоры систем WDM / Н. Слепов //Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2004. – № 8.2.* 2) *Шувалов В.П., Фокин В.Г. Оптические сети доступа большого радиуса действия. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 188с.;* 3) *Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети: Уч.пос./ГОУ ВПО «СибГУТИ». - Новосибирск, 2009 г. - 206с.;* 4) *Горлов Н.И., Микиденко А.В., Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП: Учеб пособие. - Новосибирск: СибГУТИ, 2003. – 230 с.*

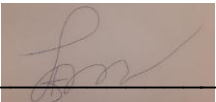
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСТЫ (ЖОБАНЫ) ДАЙЫНДАУ
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2020 -25.01.2020	орындалды
Теориялық ақпарат	20.01.2020 -25.02.2020	орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі	25.02.2020 – 20.05.2020	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	А.Хабай, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы	24.04.2020	
Теориялық ақпарат	А.Хабай, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы	24.04.2020	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы Хабай А.	22.05.2020	

Ғылыми жетекшісі  АХабай
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  А.М.Мусакан

Күні “_22_” _____05_____ 2020 ж.

АНДАПТА

Осы дипломдық жұмыста Алатау ауданындағы оптикалық PON технологиясының маңыздылығы көрсетілген.

Талшықты-оптикалық байланыс, байланыстың басқа түрлері арасында алдыңғы қатарлы орын алады. Бір тұтынушыға толқын ұзындығы бойынша толқынды бөлуді пайдаланып, төмен ағындағы өткізу қабілетін арттыру – жұмыстың басты мақсаттарының бірі.

Уақыт өте келе тұтынушылардың телекоммуникациялық желі қуатына қажеттілігі айтарлықтай аса арта бастады. Осыған байланысты жұмыстың тақырыбы бір тұтынушыға 1 Гбит/с дейін өткізу қабілетін арттыру және қашықтағы мекеме, үйлер үшін 20 км дейін байланыс қашықтығын арттыру мүмкіндігін қарастыруға арналған.

АННОТАЦИЯ

Эта работа показывает важность технологии оптической PON в Алатауском районе.

Волоконно-оптическая связь является одним из ведущих видов связи. Одной из основных целей работы является увеличение пропускной способности слабых токов с помощью распределения длин волн на одного потребителя.

Со временем спрос потребителей на мощность телекоммуникационных сетей значительно возрос. В связи с этим тема работы заключается в рассмотрении возможности увеличения пропускной способности до 1 Гбит / с на одного клиента и увеличения расстояния связи для удаленных учреждений, домов до 20 км.

ANNOTATION

This work shows the importance of optical PON technology in the Alatau region.

Fiber optic communications is one of the leading types of communications. One of the main goals of the work is to increase the capacity of low currents by distributing wavelengths per consumer.

Over time, consumer demand for telecommunication networks has increased significantly. In this regard, the theme of the work is to consider the possibility of increasing throughput up to 1 Gbit / s per client and increasing the communication distance for remote institutions, homes up to 20 km.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Абоненттік қатынауды дамытудың негізгі бағыттары	10
1.1 Қатынау желілерін ұйымдастыру	10
1.1.1 Қол жеткізу желілерінің жұмыс режимдерінің ерекшеліктері	12
1.1.2 Ethernet FTTH, PON желілерінің архитектурасы	13
1.1.3 PON желісінің стандарттары	13
1.2 Оптикалық қатынау желілері	18
1.2.1 Қатынау желілерінің оптикалық технологияларға ауысуы	19
1.3 Оптикалық қатынау желілерінің архитектуралық ерекшеліктері	20
1.4 Тапсырманың қойылымы	24
2 Оптикалық қатынау желілерінің технологиялық сипаттамалары	25
2.1 PON желісінің типтік құрылымы	27
2.2 PON технологиясының артықшылықтары	28
2.3 Ақпаратты берудің әртүрлі технологиялары	29
2.4 Абоненттік қатынау құру технологиялары	31
2.5 Параметрлерді талдау	32
3 PON физикалық деңгейі үшін бағалау есебі	35
3.1 Дисперсиялық және энергетикалық сипаттамаларды есептеу	35
3.2 Оптикалық сигналдарқуатын есептеу	38
Қорытынды	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	

КІРІСПЕ

Дамыған елдерде талшықты-оптикалық байланыс басқа байланыс құралдары арасында көшбасшы орынға ие болды. Телекоммуникация нарығын тұрақты және серпінді дамыту үшін ақпарат алмасу бойынша кең мүмкіндіктермен сапалы жаңа қызметтер көрсетуге мүмкіндік беретін озық технологияларды енгізу қажет. Қазіргі заманғы байланыс операторлары өткізу жолағын және ұсынылатын қызметтер спектрін кеңейтуді қажет етеді, бұл ретте табыстылықты сақтай отырып. Сапа, тиімділік және сенімділікке, сондай-ақ байланыс қызметтерінің түрлерін кеңейтуге қойылатын талаптар айтарлықтай өсті. Берілген ақпараттың көлемін күрт ұлғайту мүмкіндігі жаңа цифрлық коммутация жүйелерін және талшықты-оптикалық кәбілдерді бірлесіп қолдану нәтижесінде іске асырылады. оларды жаңғыртудың перспективалық бағыттарының түбі пассивті оптикалық желілер - PON (Passive Optical Networks) технологиялары базасында желілік шешімдерді енгізу және дәстүрлі байланыс қызметтерінің спектрін жаңа, талап етілетін қызметтермен кеңейту болып табылады [1].

Жұмыстың мақсаты талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде тарату кезінде ақпараттың сапасын бағалау. Мақсатқа жету үшін қажет:

- абоненттік желіні құру қағидаттарына, архитектурасына және функцияларына шолу жүргізу;
- негізгі технологияларға және желі параметрлеріне шолу жүргізу;
- желі жұмысының сапа параметрлерін есептеу және тәжірибелік бағалауды жүргізу.

1 Абоненттік қатынауды дамытудың негізгі бағыттары

Соңғы қадам - бұл ең аз уақыт ішінде абоненттер үшін ең көп телекоммуникация қызметтерін ұсыну. Қолайлы орнату және өзіндік құны төмен жүйелерге артықшылық беріледі. Соңғы уақытта абоненттерді барлық елді мекендерде пайдаланылатын жалпы пайдаланымдағы СТОП - телекоммуникациялық желілердің көмегімен жүзеге асырылатын xDSL класындағы байланыс арналарына қосу кеңінен тарайды. Провайдерлер бұл желілерді белсенді пайдаланады, өйткені олар абоненттерді қосу үшін аз құны бар. Мұндай желілердің басты кемшілігі-54 Мбит/с дейін деректерді берудің шектеулі жылдамдығы.

1.1 Қатынау желілерін ұйымдастыру

Алатау ауданы - Алматы қаласының әкімшілік-аумақтық бірлігі. 2008 жылы құрылған.

1993 жылы Алатау аймағы Әуезов облысына қосылып, оны оңтүстіктен кеңейтті. 2008 жылы жаңадан құрылған Алатау ауданы оны бөліп тұрған Әуезов облысын бөлу нәтижесінде пайда болды, оның бір бөлігі Рысқұлов даңғылының солтүстігінде. Ауданның әкімшілік орталығы Шаңырақ шағын ауданында орналасқан. Географиялық жағынан ұқсас аудандар (Алатау 1993 жылға дейін және 2008 жылдан кейін) әртүрлі жерлерде орналасқан.

Қазіргі уақытта байланыс желілері төрт бағытта дамиды [2]:

- сымсыз желілер;
- гибриді талшықты-коаксиалды желілер (HFC);
- xDSL технологиясын қолдана отырып, мыс оралған телефон жұптары негізіндегі желілер;
- талшықты-оптикалық желілер.

XDSL технологиясы-мыс оралған байланыс желілері базасында кәбілдік жүйелер бойынша абоненттер санын арттырудың ең қарапайым және арзан тәсілдерінің бірі. Мұндай жолы операторлары үшін ең сенімді және үнемді кезде жылдамдығын 1-ден 8 Мбит/с болып саналады, Бірақ ұсыну үшін табыстау жылдамдығы бірнеше ондаған Мбит/с, мұндай жүйелерде болып табылады қымбат және ең қарапайым шешімімен ескере отырып, қызмет көрсету сапасы мыс және үлкен қашықтыққа беру. Келесі дәстүрлі шешім гибриді талшықты-коаксиалды желі (HFC, HybridFiber-Соахиал) болып табылады. Бір коаксиалды сегментке көптеген кәбілдік модемдерді қосуды пайдалану есебінен желіні құру кезінде шығындарды төмендету байланыс операторлары үшін тартымды болып табылады. Мұндай жүйелердің басты кемшілігі шектеулі Өткізу жолағы болып саналады. Қиындықтар пайда болған кезде кәбілді тартымды деп саналады шешім сымсыз желілер. Соңғы жылдары 300 Мбит/с дейінгі жалпы жолағы бар WiFi технологиясы үлкен танымалдылықты алады. Сонымен қатар,

"Қазақтелеком" АҚ абоненттерге ең жоғары жылдамдықты ұсынуға қабілетті оптикалық байланыс желілері ең үлкен тартымдылыққа ие.

Соңғы жылдары бұл әдіс оптикалық жабдыққа бағаның төмендеуі есебінен үлкен ризашылыққа ие болды. Сонымен қатар, оптикалық байланыс желісін ұйымдастыру үшін оптикалық кәбіл төсеу ескі желілерді жаңарту үшін де, жаңа желілерді ("соңғы миль") салу үшін де тиімді болды. Ол үшін талшықты-оптикалық қатынау технологиясын таңдаудың көптеген нұсқалары қолданылады:

- оптикалық модемдер негізінде шешімдерді пайдалану;
- оптикалық Ethernet;
- Micro SDH технологиясы;
- PON негізгі пассивті оптикалық желілерінде.

Ұялы байланыс индустриясының қарқынды дамуына байланысты 5G желісі артты. Сонымен қатар, 5G өткізу қабілеттілігінің жоғарылығына қажеттілік сияқты бірқатар қиындықтарға тап болады. Бұл проблемаларды қалай шешуге болады? WDM-PON желісі жақсы шешім болуы мүмкін. Бұл хабарламада WDM-PON технологиясының артықшылығы және 5G-ді қолдануға қалай көмектесетіні түсіндіріледі.

WDM-PON желісіне шолу және 5G

Баршаға белгілі, WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network) WDM технологиясын PON топологиялық құрылымымен біріктіреді, бұл операторларға жоғары өткізу қабілеттілігін бірнеше қашықтыққа бірнеше соңғы нүктелерге жеткізуге мүмкіндік береді. Оған бірнеше технология, соның ішінде түссіз ONU технологиясы, қосалқы басқару және басқару арнасы (AMCC), оптикалық модульдер, OAM және қорғаныс коммутациясы кіреді. Осы негізгі технологиялардың көмегімен WDM-PON 5G талаптарына жауап бере алатын және қазіргі уақытта үлкен назар аударатын тамаша шешім ретінде қарастырылады.

5G - сымсыз ұялы байланыс желісінің бесінші буыны. Ол 4G LTE құрған негізде адамдарға мәтіндік хабарламалар жіберуге, қоңыраулар шалуға және Интернетті шолуға және басқаларға мүмкіндік беру үшін салынады. Бұл 5G өнімділігінің жоғарылатылған мақсаттары деректердің жоғары жылдамдығын, энергияны үнемдеуді, құрылғылардың жоғары сапалы және жаппай қосылуын қамтиды.

Жоғарыда айтылғандай, WDM-PON-да 5G қосымшаларында біршама артықшылықтары бар бірнеше пайдалы технологиялар бар, оның ішінде өткізу қабілеттілігі жоғары, кідіріс, төмен шығындар, талшықты үнемдеу, қызмет көрсету оңай және басқалары.

Жоғары өткізу қабілеті

WDM-PON технологиясы әртүрлі физикалық талшықтар бойындағы трафикті әртүрлі толқын ұзындығына бөлуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде логикалық нүкте-нүкте байланысын физикалық нүкте-көп нүктелі желі топологиясы арқылы қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, AMCC сигнал модуляциясы басқару толқындарының ұзындығына басқару арнасын орналастыруға көмектеседі. Сондықтан 5G алдыңғы рейсті WDM-PON арқылы

тасымалдау әр пайдаланушыға арнайы толқын ұзындығы мен өткізу қабілеттілігін ұсынады, уақытты үнемдейді және берудің тиімділігін арттырады.

Төмен күту уақыты 5G қолдану үшін АМСС технологиясын қолдана отырып, кадрларды өңдеуді немесе өткізу қабілеттілігін динамикалық бөлуді (DBA) жоспарлауды қажет етпейді. Бұл архитектура кіші кідірісті, төмен жиілікті қоқысты және алдыңғы интерфейстердің икемді конфигурациясын қамтамасыз етеді. Төмен шығындар PON топологиясының көмегімен сайттың тығыздығы жоғары 5G алдыңғы желілерге қажет талшықтар саны азаяды. Қолданыстағы талшықты инфрақұрылым мен жабдық бөлмесі пайдаланылуда, бұл орналастыру мен қызмет көрсету шығындарын үнемдейді. Сонымен қатар, WDM-PON OLT көмегімен біріктірілген алдыңғы / орта рельсті (XHaul) көлік желісін жүзеге асырады. Бұл OLT платформасы мен DU бассейнін бірдей жабдық бөлмесінде орналастыруға болады, бұл жабдықты салу шығындарын азайтады. Сонымен қатар, WDM-PON жүйесінде ONU түссіз технологиясын қолдану төмен шығындарға әкеледі.

5G қолдану үшін WDM-PON желісі BBU және RRU екі деңгейлі архитектурасы бар 4G-тен айырмашылығы, 5G үш объект ретінде құрылады: CU (Орталықтандырылған бөлім), DU (үлестіру бөлімі) және AAU (Антеннаның белсенді бөлімі). Ал 5G-дің үш сценарийі бар, олар: алдыңғы, орта және артқы рейсті беру. Алдыңғы қатардағы 5G желісінде WDM-PON тиімді шешім болады. Төмендегі 1-суретте WDM-PON 5G желісінің архитектурасы көрсетілген. Бірнеше RRU және DU WDM-PON нүктелік-көп нүктелі топологиясы арқылы қосылады. WDM-PON OLT DU, CU және ONU қосылады. ONU сонымен қатар RRU-ға қосылған.

Бұл OLT платформасы DU және RRU арасындағы алдыңғы рейсті, сондай-ақ DU мен KO арасындағы орташа тасымалды жүзеге асырады. Алдыңғы рейсті беру немесе RRUs және DU арасындағы байланыс тұрғысынан WDM-PON беріліс интерфейсі пайдаланушылар арасында деректердің мөлдір жеткізілуіне мүмкіндік беретін маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, WDM-PON-ны 5G тасымалдауға қолдану әсіресе сымсыз және сымсыз байланыс қызметтерін ұсынатын операторларға қолайлы.

1.1.1 Қол жеткізу желілерінің жұмыс режимдерінің ерекшеліктері

Өз мыс байланыс желілері жоқ Интернет - провайдерлер Ethernet to the home (ЕТТН) класты желілерді белсенді дамытады, бұл ретте оптикалық кабель магистральды учаскелерде қолданылады, ал абоненттік концентратордан пәтер немесе пайдаланушы офисіне дейінгі учаскелерде UTP (симметриялы оралған бу) қолданылады. Кейбір учаскелерде бастапқы байланыс желілері және қаланың немесе ауылдың ТФОП провайдерінің кәбілдік кәріз желісі пайдаланылады. Дәстүрлі ресурстарды пайдалану мүмкін болмаған жағдайда провайдерлер үйлердің шатырларына ілуді немесе төсеуді қолданады. Ол үшін арнайы өздігінен жүретін оптикалық және UTP-кабельдер қолданылады. Бұл тәсіл

тұрақты байланыс желісіне кепілдік бермейді, демек, деректерді берудің сенімділігі мен дайындығына кепілдік бермейді [3].

FTTH желілерін пайдаланудың негізгі артықшылығы-абоненттерге байланыс қызметтерін көрсетудің атаулылығы. Сондай-ақ, мұндай желілерді масштабтау артықшылықтарын жатқызуға болады. Елеулі кемшілігі болып желісінің жұмысы деңгейінде Ethernet барлық пайдаланылатын бұл дестесін хаттамалар кемшіліктері бар ,JKSG саналады . Осы желінің архитектурасын дұрыс жүзеге асыру Ethernettothhome (ЕТТН) - Fibertothebuilding (FTB) - Fibertothebuilding (FTTH) принципі бойынша технологияның эволюциясынан тұрады, атап айтқанда шағын көлемді оптикалық кабельді ғимаратқа, пәтерге, абонент офисіне жеткізу.

1.1.2 Ethernet FTTH, PON желілерінің архитектурасы

Сонымен қатар, оптикалық желілерді құру тәжірибесі ұзақ уақыт бойы бар, бірақ мұндай желілерді құру үшін негізгі тәсіл абонентке қатынау торабынан (күшейткіштер, коммутаторлар және т.б.) белсенді жабдықты қолдану болып табылады, бұл ретте белсенді элементтер санының артуы желінің өзіндік құнының артуы және оның сенімділігінің азаюы байқалады. PON (passive optical network) базасында архитектураны пайдалану кезінде - FTTH желілерін құру үшін пассивті оптикалық желі, желі пассивті оптикалық тармақтағыштардың көмегімен абоненттерге бөлінеді, олардың тармақталу коэффициенті 1:4-тен 1:128-ге дейін құрайды. PON технологиясы негізінде FTTH архитектурасы әдетте Ethernet протоколымен қолдау табады. Кейбір жағдайларда пайдаланушыларға дәстүрлі аналогтық және сандық теледидар қызметтерін ұсыну үшін төмендеу ағынының Қосымша ұзындығы (downstream) қолданылады. Бұл жағдайда IP қолдайтын теледидар префикстерін қолданудың қажеті жоқ. PON дәстүрлі желісінде әртүрлі оптикалық желі терминаторлары (optical network termination (ONT)) немесе оптикалық желі құрылғылары (optical network unit (ONU)) қолданылады. ONT жекелеген соңғы абоненттерді пайдалану үшін қажет. Сонымен қатар, ONU құрылғылары цокольдық қабаттарда немесе жертөле бөлмелерінде орналасады және абоненттер тобымен бірге қолданылады [4].

1.1.3 PON желісінің стандарттары

PON желілерінің үш түрлі стандарты бар. Деректер берудің жиынтық жылдамдығы ұқсас және жоғары ағында жүйенің өткізу қабілетін сипаттайды. Тарату жоспарын ескере отырып, бұл жылдамдық 16, 32, 64 немесе 128 абоненттер арасында бөлінуі мүмкін. ВPON қазіргі уақытта АҚШ-та кейбір байланыс операторлары қолданатын дәстүрлі технология болып саналады, бірақ

басқа стандарттар мен технологиялармен жылдам ығыстырылатын. GPON стандарты Gigabit Ethernet технологиясын пайдалану кезінде құнды төмендету үшін әзірленген, ал GPON стандарты төмен түсетін ағынның ең жоғары жылдамдығын қамтамасыз ету және үстеме шығындарды азайту және АТМ мен TDM трафигін тарату мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін әзірленген. Бірақ іс жүзінде бұл мүмкіндік өте сирек қолданылады. Әдетте, GPON архитектурасы Ethernet транспорттық платформасы ретінде қолданылады. PON-технология негізінде қатынау желісін құратын байланыс операторларының пікірі бойынша, нүкте - нүкте топологиясымен оптикалық талшықты желілердің орнына (P2P FTTH) таңдау критерийі бола алмайтын үш негізгі артықшылығы бар.

PON негізінде FTTH желілерін құрудың аса маңызды артықшылығы - оптикалық тармақтағыштардан орталық АТС-ке дейінгі учаскелердегі оптикалық талшықты желілерді үнемдеу немесе қатынау нүктелері. Провайдер қосымша оптикалық жұп болса, Жаңа траншеяларды қазудан құтылу, құдықтардағы орын. Бірақ оптоталшықты инфрақұрылымның қолжетімділігі өте жиі асыра бағаланады, бұл жоспарланғаннан гөрі жер жұмыстарының үлкен көлеміне әкеледі.

Жапонияда EPON желісі өте танымал. Ауа желілерін пайдалану баған арасындағы оптоталшықты кабельдің ұзындығын айтарлықтай азайтады. Үнемдеу үшін порттарды қол жеткізу нүктесінде немесе орталық АТС-те пайдалануға болады. Мысал үшін нүкте-нүкте топологиясын қолданамыз. Бұл топологияда әр абонентте өзінің бөлінген интерфейсі бар болғандықтан, бұл шарт тұтынушылардың көп саны үшін бірлескен порттарды пайдаланатын технологиямен салыстырғанда осы технология құнының үлкен секіруіне әкеледі. Бірақ тәжірибе көрсеткендей, бөлінген Ethernet порттары соңғы құны жоғары PON порттарын тере алады. Сонымен қатар, GPON порттары тек осы архитектураға ғана пайдаланыла алады. Жаңа оптикалық тарату бағандары болмаған жағдайда, көп оптикалық талшықты желілерге қызмет көрсету мүмкін емес. Соңғы уақытта мұндай тораптар Еуропада нүкте - нүкте (P2P FTTH) архитектурасын пайдаланатын FTTH желілерінде таралған. PON-кең тарату ортасы болғандықтан, бірнеше операторлар оны цифрлық теледидар үшін пайдалануға болады деп болжайды, бұл аналогтық немесе цифрлық теледидар сигналын беру үшін абонентте коаксиалды ажыратуды пайдалануға мүмкіндік береді. P2P FTTH нүкте - нүкте топологиясына екінші оптикалық талшықты желіні қосу үлкен танымалдыққа ие болды. IP - теледидар мен топологияны қоса алғанда, IP-теледидарды тарату үшін қосымша пассивті оптикалық желі салынған барлық интерактивті қызметтер үшін нүкте-нүкте топологиясын пайдаланады. Бұл құрылымды бұдан әрі интерактивті қызмет көрсету үшін PON желісін қолданудан гөрі, абоненттердің көп саны үшін пайдалануға болады [5].

GPON технологиясы 2,5 Гбит/с тең келетін ағынның жалпы өткізу қабілетін қамтамасыз етеді, бұл абоненттердің қажеттіліктерін қанағаттандырады, себебі үлкен өткізу қабілеттілігінде қажеттілік экспоненциалды өсуде. Сонымен қатар, IPTV-дің жалпы өткізу жолағының азаюына алып келетін ағындарды резервтеу үшін өткізу жолағының кейбір бөлігін пайдалану қажет. PON жалпы тарату ортасы бар технология болып

табылады. PON-ға жіберілетін барлық деректер ағындарын шифрлау қажеттілігі туындайды. GPON технологиясында тек қана төмен ағынын шифрлеу ұйымдастырылған, ал сенімді жетілдірілген шифрлау стандартын (advanceencryptionstandard (AES) пайдалану соңғы пайдаланушылардың жеке ақпаратының қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді және провайдерлерге қызметтерді ұрлаудың алдын алуға мүмкіндік береді. AES стандартын пайдалану есебінен сенімділікті қамтамасыз ету өнімділіктің төмендеуіне әкеледі. Шифрлеу үшін әрбір пакетпен бірге қызметтік ақпараттың елеулі көлемін беру қажет, бұл PON-да деректерді берудің пайдалы жылдамдығының айтарлықтай азаюына әкелуі мүмкін.

Құпиялылыққа жоғары талаптар қоятын коммерциялық ұйымдар (мысалы, қаржы мекемелері), әдетте, код құпиялылығын сақтау кепілдігі жоқ болғандықтан, байланыс арнасын шифрлеу болғанда да кез келген қоғамдық таратушы ортаға қосылу мүмкіндігін үзілді-кесілді қабылдамайды. PON пассивті оптикалық желілерінде жалпы тарату ортасын пайдалану нәтижесінде әрбір шеткі құрылғы (ONT немесе OLT) деректерді берудің жиынтық жылдамдығына тең жылдамдықпен жұмыс істеуге мәжбүр болады. Егер клиент тек 25 Мбит/с үшін ғана төлесе де, бұл ағашта оптикалық желінің әрбір соңғы нүктесі (ONT) 2,5 Гбит/с (GPON) тең жылдамдықпен жұмыс істеуі тиіс. Деректерді берудің қажетті жылдамдығынан 100 есе асатын жылдамдықпен электрондық және оптикалық құрылғылардың жұмысы, әсіресе өндіріс көлемі өте үлкен болмаса, компоненттер бағасының өсуіне себепші болады. Осы архитектураға лазердің үлкен қуаты қажет, өйткені байланыс желісінің энергетикалық әлеуеті 1:2 қатынасында әрбір тармақталған кезде 3,4 дБ-ға азаяды. Сондықтан, 1:64 қатынасында тармақталған кезде байланыс желісінің энергетикалық әлеуеті 20,4 дБ-ға азаяды (бұл 110-ға тең қуаттардың қатынасына тең). Сонымен, бұл модельде PON архитектурасының барлық оптикалық таратқыштары оптикалық сигналдың қуатын қамтамасыз етуі тиіс, FTTH архитектурасымен салыстырғанда 110 есе үлкен нүкте-бір қашықтыққа беру кезінде нүкте. Абоненттік желілер бөлімшесі (loslloopunbundling (LLU)) - қазіргі уақытта баламалы операторларға абоненттік мыс байланыс желілеріне қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін шетелде міндетті түрде қолданылатын әдіс.

Мұндай тәсіл DSL қызметтері нарығында ұсынысты едәуір арттыруға және провайдерлердің бәсекелестігі есебінен абоненттер үшін кеңжолақты қатынау қызметтерінің бағасын төмендетуге мүмкіндік берді. PON желілері әлі LLU талаптарын қанағаттандырмайды, өйткені абоненттер тобын қосу үшін тек бір ғана оптикалық талшықты желі бар, ол тек логикалық, бірақ Физикалық деңгейде емес, бөлінуі мүмкін. PON базасындағы пассивті оптикалық желінің бұл ерекшелігі абоненттік желілерді бөлу (LLU) арқылы тікелей абоненттік қатынауды ұсынбай, негізгі оператордың қызметтерін жаппай сатуды көздейді [6].

Еуропадағы ең жаңа FTTH желілерін түрлі нысандары бөлімшесінің абоненттік желілерді көздейді, бұл бизнес үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, бірақ міндетті болып табылмайды. реттеуіш талабымен орындау үшін. Икемділігін қайта қосу клиенттердің арасындағы оптикалық PON есебінен араластыра

отырып, оптикалық кроссом қр тарату шкафында учаскесі. Бұл функция абоненттердің сервистерге жазылу пайызын болжау қиын болған жағдайда қолданылады, мысалы өте үлкен құрылыс кезінде және абоненттік желілер бөлімінің талаптарын орындау қажет. Бұл жағдайда учаскенің тарату шкафында қызмет көрсететін сервис-провайдердің тарамдауышы және қатысу нүктесіне баратын тиісті тарату желілері бар. Бірақ мұндай икемділік учаскеде оптикалық тарату торабын қолдауға жұмсалатын шығындардың және ағымдағы шығындардың өсуіне әкеледі.

Абонентті әрбір ауыстырып қосу кезінде әрбір қатынау нүктесінде оптикалық талшықты желілерді коммутациялау үшін маманның қызметтері талап етіледі. Әдетте, FTTH желісін өрістету кезінде осы аудандағы барлық әлеуетті абоненттер үшін оптикалық талшықты байланыс желілерін бір уақытта қосу жүзеге асырылады. Бұл жағдайда, бұл оптикалық талшықты желілер тарамдаларға қосылады және Орталық АТС немесе қатынау нүктесіне фидер оптикалық кабелімен тартылады. Абоненттер FTTH сервисіне барлық оптикалық талшықты желілерді өрістеткеннен кейін ғана жазыла алады. Жеке абоненттер үшін қызметтерді өрістету кезінде провайдерлер сирек 100% жазылымға жетеді. Әдетте бұл көрсеткіш 30% - ға жақын. Ол үшін PON желісінің құрылымы оңтайлы емес, ал OLT жабдығының құны әр абонент үшін айтарлықтай артады. Бұл мәселені шешудің бірі-қашықтағы оптикалық тарату тораптарын пайдалану болып табылады, ол әдетте рон пассивті оптикалық желісінің жүктелуін жақсартумен өтемейді.

Енжар оптикалық таратқыштар ақаулар туралы ақпаратты желіні басқару орталығына бере алмайды. Сондықтан, оптикалық рефлектометрдің (OTDR) көмегімен абоненттің оптикалық желісін терминациялау нүктесінің (ONT) арасындағы оптикалық талшықты желінің ақаулығын анықтау өте қиын. Бұл PON желілеріндегі ақауларды іздеу мен жоюды қиындатады және оларды пайдалану шығындарын арттырады. Оптикалық желінің (ONT) терминалдық нүктесін зақымдаған кезде ол оптикалық талшықты желілердің ағашына тұрақты жарық сигналын бере алады, бұл барлық абоненттер үшін байланыстың бұзылуына әкеледі, сонымен қатар зақымдалған құрылғыны табу өте қиын. Егер қандай да бір қорғаныс схемасының көмегімен мұндай зақымдануды болдырмау мүмкін болса да, бұл мәселе зиянкестердің іс-әрекеттері салдарынан туындауы мүмкін, ол ағаштағы барлық байланыс жүйесінің жұмысын оған үздіксіз жарық сигналын беру жолымен үзуі мүмкін. PON технологиясының жабдығы үнемі үлкен өткізу жолағын қамтамасыз ететін жаңа технологияны пайдалану есебінен жаңартуды қажет етеді. IEEE және ITU-T ұйымдары келесі буындағы пассивті оптикалық желілер үшін 10 Гбит/с рон жылдамдығы бар талаптарды стандарттаумен жұмыс істейді. Бұл шешім қолданыстағы PON (GPON немесе EPON) технологияларымен кері үйлеспейді [7].

Бұл жағдайда бір PON технологиясынан екіншісіне тасымалдаудың екі жолы болуы мүмкін:

а) сервистен оптикалық ағашты толығымен шығарып, барлық шеткі құрылғыларды ауыстырып, содан кейін құрылымды пайдалануға қайтару. Оптикалық желі терминінің нүктелері (ONT) әдетте сервис-провайдер тікелей

катынауы жоқ абонент аумағында орналасқандықтан, бұл көші-қон процесі ұйымдық проблемаларды тудыруы және өте көп еңбекті қажетсінетін болуы мүмкін;б) оптикалық талшықты желілердің көмегімен, бірақ толқынның басқа ұзындығында жаңа PON технологиясын іске асыру үшін толқын ұзындығы бойынша бөле отырып, нығыздауды пайдалану. Қазіргі уақытта PON қабылдағыштары толқын ұзындығы бойынша іріктеуді пайдаланбайды, сондықтан жұмыс басталар алдында барлық шеткі құрылғыларда толқын ұзындығы сүзгілерін орнату қажет. Оптикалық сигналдың қуатын арттыруға мүмкіндік беретін оптикалық Модульдер, сондай-ақ кез келген Ethernet-жабдықтың портына қосуға болатын оптикалық модульдері бар оптикалық модульдер бар. Әдетте, Ethernet FTTH қатынау коммутаторында порттарды тек провайдерден жазылуды ресімдеген абоненттер ғана пайдалана алады. Жаңа абоненттер пайда болған жағдайда, жоғары модульдік Ethernet желілік карталарын қосуға болады. Керісінше, пайдалану кезінде сәулет базасында PON қосу бірінші абоненттің оптикалық ағаш болуын талап етеді ең қымбат порт OLT, ал қосқан кезде абоненттер сол ағашқа PON қосу құны әрбір абоненттің есебінен ұлғаяды сатып алу ONT. Осылайша, Ethernet FTTH ағымдағы конфигурациялары кейінгі 30-40 жыл ішінде маңызды емес болуы мүмкін Gigabit Ethernet технологиясын пайдалана алады. Алайда, бір модальды оптоалшықты желі кез келген жаңа беру технологиясын қолдайтын орта болып табылады.

Сонымен қатар, жекелеген жағдайларда корпоративтік абоненттерді қосу үшін SONET/SDH немесе Fibrechannel сияқты оптоалшықты технологиялар қолданылады. Бұл технология Ethernet FTTH сияқты оптикалық талшықты желілерде оңай өрістетілуі мүмкін, ал көп жағдайда - сол Ethernet-платформасын қолдану арқылы. Бір модальды оптоалшықты желілер қолданылатын технология мен деректерді беру жылдамдығына байланысты емес болғандықтан, басқалардың жұмысына әсер етпей, бір абонент үшін жылдамдықты арттыру қиын емес. Бұл, мысалы, қазіргі уақытта Fast Ethernet технологиясын пайдаланатын абонент келесі жылы Gigabit Ethernet-ке абоненттің оптоалшықты желісін басқа коммутатор портына жай ауыстырып қосу және абоненттің үй-жайында тек Ethernet-құрылғыны ауыстыру есебінен ауыса алады. Бұл өзгеріс Ethernet FTTH желісінің қалған абоненттерінің жұмысына әсер етпейді. Қазіргі уақытта бөлінген оптоалшықты желі ең қорғалған орта болып табылады(Физикалық деңгейде), әсіресе жалпы таратушы ортамен салыстырғанда. Сонымен қатар, қызмет көрсету провайдерлерінің ортасында қолданылатын Ethernet коммутаторлары порттардың физикалық деңгейін және абоненттердің логикалық деңгейін бөлуді қамтамасыз етуі тиіс, бұл ретте олар басып кірудің барлық іс жүзінде әрекеттерін болдырмауға қабілетті сенімді қорғаныс функцияларының үлкен саны болады.

Ethernet FTTH архитектурасы абонент аумағында желіге қосылудың қарапайым құрылғыларын (customerpremiseequipment (CPE)) пайдалануды болжайды. Бұл құрылғылар өте арзан және әдетте пәтерлерде немесе абоненттердің үйлерінде орналастырылады. Провайдерлердің үшін қарайтын өрістету мүмкіндігі FTTH желілерінің маңызы зор пайдалануға арналған

шығындар қатар капиталдық шығындармен сатып алуға және өрістету талшықты-оптикалық желілер мен жабдықтар. Қазіргі уақытта осы параметр бойынша архитектураны тікелей салыстыру үшін жеткілікті деректер саны жоқ, алайда топологияда Ethernet FTTH желілерін пайдалануға кететін шығындар нүкте-нүкте роп FTTH архитектурасымен желілерді пайдалануға кететін шығындардан төмен.

Мұндай желінің жұмысына құрылыс жұмыстарының салдарынан кәбілдің үзілуі үлкен әсер етеді. LTE желісін пайдалану кезінде ең нашар нұсқа-қатынау нүктесіне немесе АТС-ке жақын бірнеше жүздеген оптикалық-талшықты желілер бар үлкен кабельдің үзілуі. Мұндай жағдайларда кабельді қалпына келтіру үшін PON трафигін тарататын кабельді қалпына келтіруге қарағанда әлдеқайда көп уақыт қажет болады, себебі онда желіден едәуір аз. Мұндай жағдай қазіргі уақытта пайдаланылатын мыс желілеріне тән, олар да топологияға ие нүкте-нүкте. Мұндай авариялық жағдайлар өте сирек кездеседі. Сонымен қатар, олардың пайда болу қаупін азайту үшін, трафикті үлкен аумақта орналасуы мүмкін аз мөлшердегі кабельдердің үлкен санына бөлу қажет. Осылайша, бір кәбіл зақымдалғанда абоненттердің аз саны зардап шегеді. Сондай-ақ, таратқыш бөлікті құрайтын оптикалық-талшықты кабельдердің және абонентпен шекарада кәбіл инфрақұрылымын құрайтын кәбілдердің арақатынасын анықтау қажет. Көптеген конфигурациялары аралық бөлігі бойынша бөлінген өте үлкен алаңы, бұл үлкен ықтималдығы розетканың бүлінуі негіздейді. Сонымен қатар, байланыс желілерінің осы бөлігінде топология тұрғысынан архитектуралар арасында айтарлықтай айырмашылық жоқ. Сонымен қатар, роп желісіндегі оптикалық уақытша рефлектометрді қолдану арқылы өлшеулер оптикалық тармақтағыштардың болуы салдарынан қиынға соғады [8].

1.2 Оптикалық қатынау желілері

Оптикалық желілер кәдімгі мыс немесе коаксиалды кабель негізінде салынған желілер алдында елеулі артықшылықтарға ие. Олар үлкен қашықтықтарға деректерді берудің анағұрлым жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді және бұл ретте электромагниттік кедергілерге және айқас нысаналарға мүлдем сезімтал емес. Оптикалық желілерді екі класқа бөлуге болады – белсенді және пассивті (PON). Арасында қатынау торабы және шеткері пайдаланушылық жабдықпен белсенді желі бар қандай да бір белсенді жабдық (мысалы, регенератор немесе коммутатор). Пассивті желіде белсенді жабдық жоқ, яғни оның элементтеріне электр қорегі қажет емес, бұл пайдалану шығындарын едәуір төмендетеді.

Технологияны пайдаланатын оптикалық абоненттік желі бойынша трафикті жеткізуді қамтамасыз ететін технологиялар тобына:

- Next generation SDH (NG SDH);
- Ethernet over fiber (EoF);

- Passive optical network (A-PON/B-PON/E-PON/G-PON), FTTx түсінігін біріктіретін. NG SDH және EoF екі талшықты қосылыстар негізіндегі арналарды пайдаланады (бір таратылымға, екіншісі қабылдауға). Бұл шешім абоненттік базаны, сондай-ақ клиенттік трафиктің құрылымын нақты анықтаған кезде тиімді, өйткені оптикалық Кәбілдегі талшықтар саны шектеулі (әдетте 96-дан артық емес), бұл бірнеше жүздеген абоненттік жалғауларда кабельдің 48 оптикалық порттарын қосуға қабілетті трафикті агрегациялаудың белсенді тораптарын пайдалануды талап етеді. PON технологиясы әртүрлі оптикалық жиіліктерде тура және кері арналарды бір оптикалық талшықта біріктіруге мүмкіндік беретін CWDM жиіліктік тығыздауына негізделген. PON технологиясы бірнеше даусыз артықшылықтарға ие: - желі құрудың жоғары емес құны;

- желіні пайдалануға және техникалық қызмет көрсетуге арналған төмен шығыстар;

- желіні біртіндеп өсіру мүмкіндігі;

- Өткізу жолағы іс жүзінде шексіз кез келген мультимедиялық қызметтерді болашақта дамытуды қамтамасыз ететін тарату инфрақұрылымын құрудың перспективасы;

- пассивті жабдықты пайдалану есебінен жоғары сенімділік.

1.2.1 Қатынау желілерінің оптикалық технологияларға ауысуы

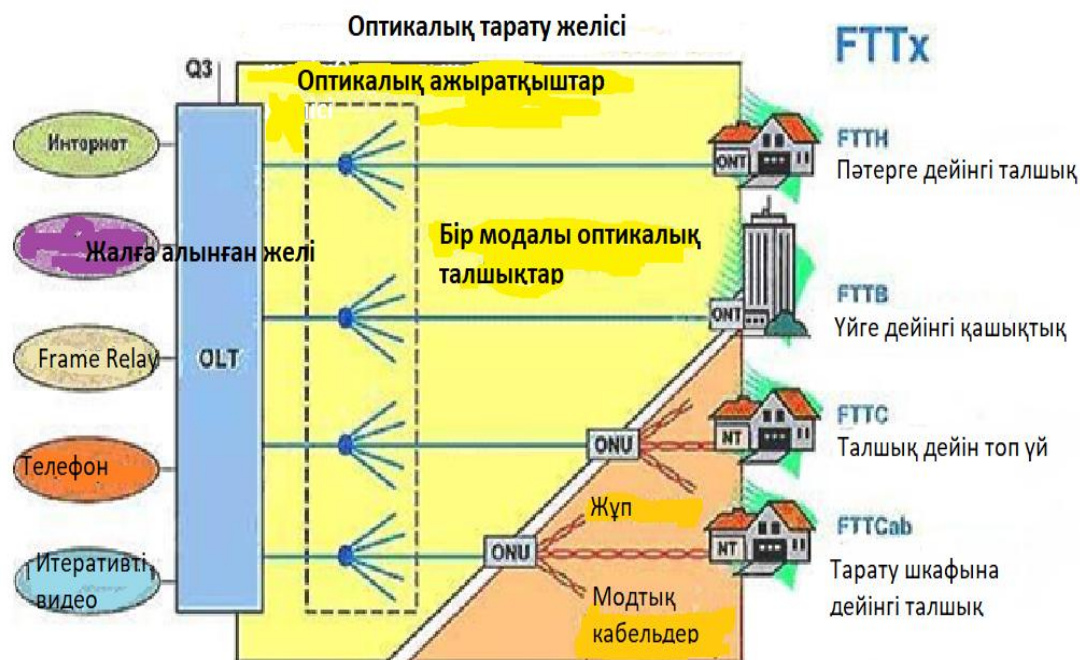
Қатынау желілері-телекоммуникация саласының неғұрлым серпінді дамып келе жатқан сегменті. Қол жеткізу желісінің тікелей көрсетумен байланысты провайдерлік, қызметтерін пайдаланушылар, және бұл үшін тіпті қолайсыз экономикалық жағдайында олар өтеледі. Қазіргі уақытта бұл желі тек қана желі үшін ғана емес, техникалық шешімдерге де ие. Сондықтан, олар техникалық және қаржылық қызықты етеді, олар даму сатысында тұр деп айтуға болады.

Әдетте абоненттік кәбілдік желілер екі түрден тұрады: мыс жж кабельдеріндегі телефон желілері және кабельдік немесе эфирлік теледидардың коаксиалды тарату желілері. Телефония аса талап етілетін қызмет болып табылатындығына қарамастан, кеңсе орталықтары арасында да, үй пайдаланушылары арасында да интернет қызметтеріне сұраныс айтарлықтай өсті. Абоненттерге телефония, деректерді беру және бейнеақпаратты бір желі арқылы ұсыну-бұл "үштік қызмет" (TriplePlay) концепциясы танымал. Бұл ретте жоғары жылдамдықты интернет, бейне айтарлықтай кең жолақты желілік ресурстарды талап етеді. Сонымен қатар, кеңжолақты қатынау сұранысының артуы жаңа технологиялардың дамуымен байланысты: сұраныс бойынша бейне (VOD), ағын бейне, интерактивті ойындар, бейнеконференциялар, компьютерлік желілерде дауысты беру (VoIP), жоғары айқындық теледидар (HDTV) және басқалар. Кеңжолақты қатынау технологиясын таңдау кезінде операторлар абоненттердің қажеттіліктерін, оларға ұсынылатын қызметтерді, экономикалық

аспектілерді, олардың орналасқан жерін ескеруі тиіс. Желі кең жолақты, икемділік, сенімділік, басқару, масштабталу, пайдалану ыңғайлылығы сияқты сипаттамаларға ие болуы тиіс. Тек қалыптасқан жағдайдан уақытша шығу xDSL модемдерін ДК-де қолдануды есептеуге болады. Қолданыстағы желілік құрылыстарды пайдалану кезінде үнемдеу кезінде цифрлық ағындарды беру жылдамдығы айтарлықтай шектеледі. Тарату жылдамдығы тұрғысынан-тіпті ең заманауи ADSL-2 ADSL-2+ модемдері қазір пайдаланушылар талаптарының "шектерінде" тұр. Интернет алмасудың жылдамдығы 1-2 Мбит/с, ал стандартты ажыратымдылығы бар ағынды бейне үшін (SDTV) – 4...6 Мбит/с (MPEG-2). Сонымен қатар, IPTV сигналдарын беру кезінде 20 Мбит/с (MPEG-2) немесе 9 Мбит/с (MPEG-4) беру жылдамдығын қамтамасыз ету қажет. Гибридті талшықты-коаксиалды технологияларды (HFC) қолдануға келетін болсақ, олар тек Кәбілдік Теледидар желілерінде ғана өздерін жақсы көрсете білді. Оптикалық магистралды коаксиалды кәбілде үйшілік тарату желісімен ұштастыра пайдалану КТВ жергілікті операторларымен сәтті пайдаланылады. Осылайша, қатынау желілерінде оптикалық шешімдерді қолдану кең жолақты тіркелген қолжетімділікті ұйымдастырудың жалғыз қолайлы тәсілі болып табылады. Қазіргі уақытта нақты оптикалық технологияларды (PassiveOpticalNetwork, ActiveEthernet, Micro SDH және т.б.) пайдалана отырып, абонентке дейін 1 - 2,4 Гбит/с жоғары жылдамдықты ағындарды ұйымдастыру мүмкіндігі бар. Ал толқынды мультиплексірлеу технологиясын қолдану бірнеше оптикалық көтергіштердің әрқайсысына осындай ағындарды беруге мүмкіндік береді. Оптикалық технологиялар үнемі жетілдіріліп, арзандауда [9].

1.3 Оптикалық қатынау желілерінің архитектуралық ерекшеліктері

Оптикалық қатынау желілерін құру архитектурасы оптикалық желілік терминалдың пайдаланушыға жақындау дәрежесімен сипатталады. Халықаралық Электр байланысы одағының стандарттау секторы (ITU-T) бірнеше сипатты нұсқаларды бөледі (1.1-сурет).



Сурет 1.1 - Оптикалық қатынау желілерін құру архитектурасы

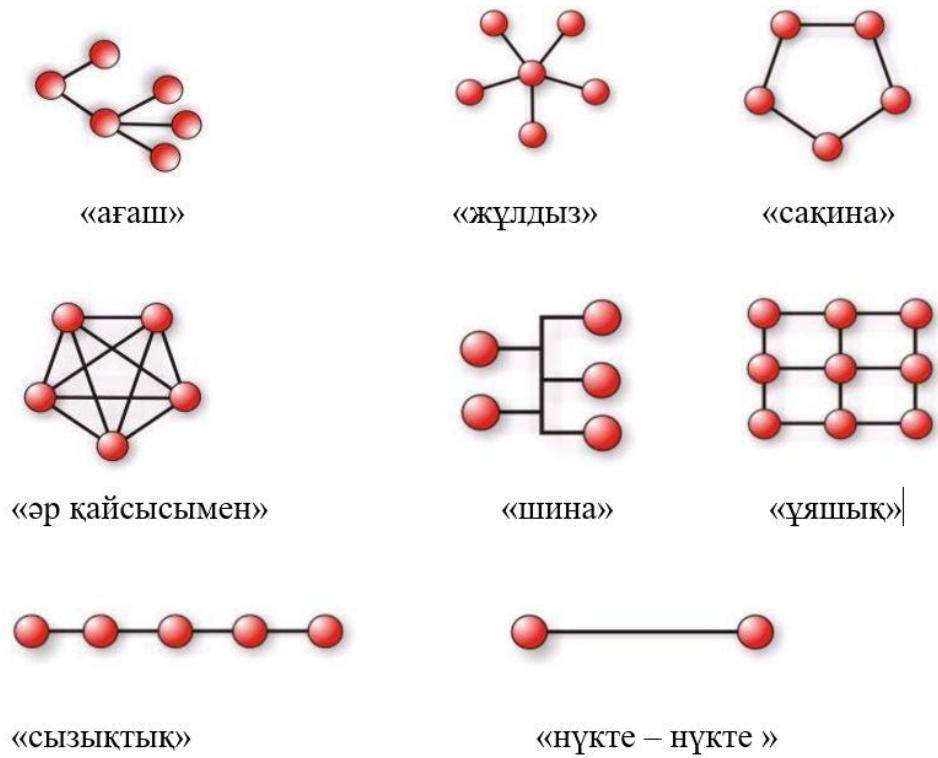
1.1-суретте көрсетілген, барлық FTTx архитектуралары (Fibertothe)... бірақ ол қысқа болса, желінің өткізу қабілеті соғұрлым көп болады. Оптикалық технологияларды барынша пайдалану FTTH құрылымын болжайды, ол кезде оптикалық желі терминалы пайдаланушы кварталында болады және соңғы құрылғылар-телефон, компьютер, теледидар және т. б. бар қысқа жалғағыш кәбілдермен қосылады. Сәулет байланысты көп жағдайларды, және бірінші кезекте - жоғары тығыздығы орналастыру абоненттер. Көп қабатты тұрғын үйлер үшін FTTB жүйелерін қолдануды болжауға болады. Жеке құрылыс немесе кеңселер үшін, тапсырыс берушінің төлем қабілеттілігіне және оның жоғары жиіліктегі қосымшалардың қажеттілігіне байланысты, FTTS немесе FTTH көп қолайлы.

Қазіргі заманғы оптикалық желілерде желінің әртүрлі топологияларын(тораптарды қосу сұлбалары) пайдалануға болады. Олар 1.2.суретте көрсетілген.

Таңдау оңтайлы топология бірқатар факторларға тәуелді, байланысты жобалау (абоненттерінің тығыздығы, олардың орналасқан жері, қызмет түрлері және т. б.), сондай-ақ базасын оптикалық технология.

Соңғы уақытта оптикалық желілерде жиі үш интегралды технология қолданылады:

- SDH микросеть (Micro SDH);
- Белсенді Ethernet желілері (Active Ethernet, AE);
- пассивті оптикалық жиынтықтар(Passive Optical Network, PON).



Сурет 1.2-желі құру топологиясының түрлері



Сурет 1.3 - PON технологиясы бойынша абоненттік қатынау желісінің құрылымдық сұлбасы

Оптикалық желінің OLT-терминалы (желілік терминал)

ONT - оптикалық желілік терминал (абоненттік торап)

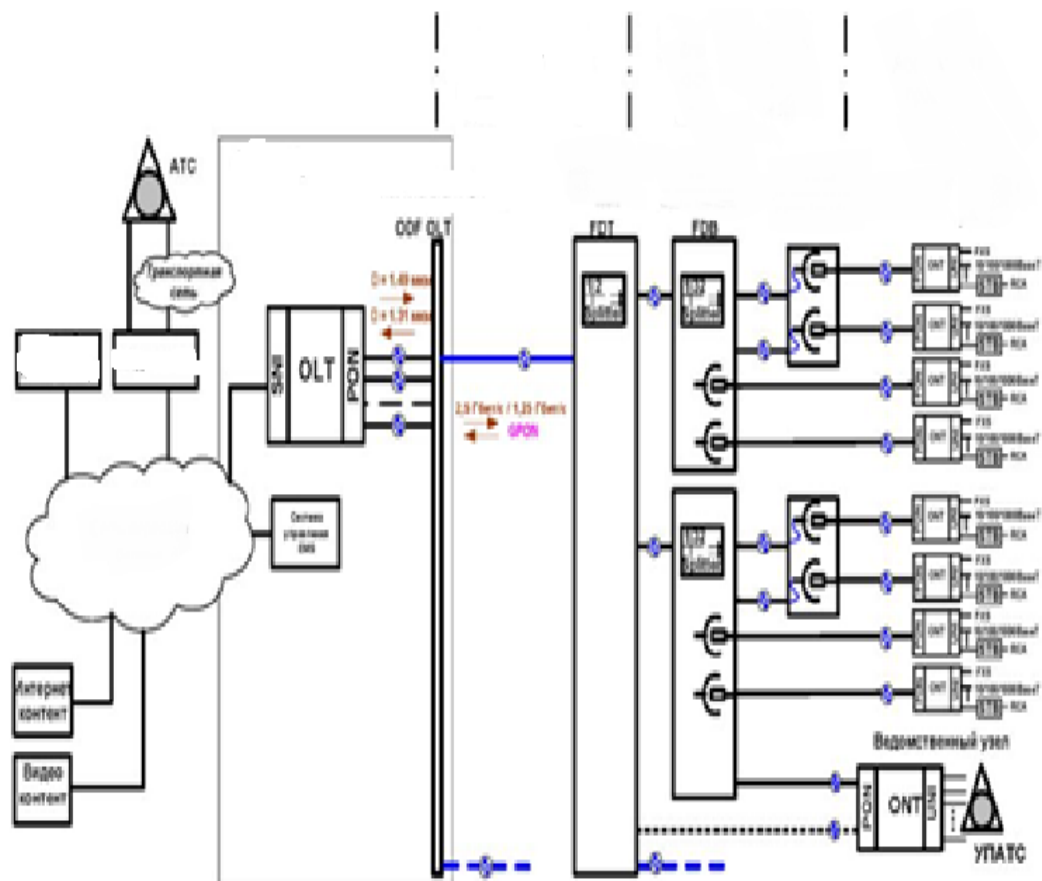
ОТШ - оптикалық тарату шкафы

ОРК - оптикалық тарату қорабы (бокс)

ОРА-оптикалық розетка абоненттік

ОТК-оптикалық тарату кросс

Желілік торап қызмет көрсету ауданы, негізінен PON болатын атс-ті камтиды. Белсенді шлюздік жабдықтар PON, ол OLT (OLT — оптикалық желілік терминал байланыстырушы ақырғы абоненттер, интернет желісімен, басқа жабдықтармен ұйымдастыру үшін қызмет көрсету тарату, дауыс, бейне және мәліметтер торабында тоқталады. Оптикалық кабельдер (кабельдер) немесе оптикалық сымдардың (патч-кордтар) көмегімен ODF Odt оптикалық кроссына қосылады. Оптикалық кроста кабельдерді бағыттар бойынша бөлу, қайта жалғау (коммутация) және сплайс-пластиналар арқылы станциялық оптикалық кәбілмен желілі жалғау (дәнекерленген қосылыстарға арналған кассеталар мен бокстар) жүзеге асырылады. Сонымен қатар, оптикалық кросс сол АТС-те (ЛАЦ, кросс) орналасқан. PON желісінің желілік торабынан оптикалық тарату шкафына (ОТШ) дейінгі учаскесінде талшықтарды магистральды бөлу жүргізіледі. Тарату желісінің PON ОРШ дейін құрылғыларды абоненттер (ONT, ONU), байланыс арқылы жүзеге асырылады оптикалық тарамдаушы (сплиттеры) орнатылатын оптикалық таратушы қораптарда (СБШ) және/немесе оптикалық таратқыш шкафтар (ОТШ) [10].



Сурет 1.4 - PON технологиясын пайдаланумен байланысты ұйымдастырудың типтік сұлбасы

Оптикалық желі OLT - терминалы

ONT-оптикалық желілік терминал

SNI-магистральды желілерге қосылу интерфейстері

UNI- Абоненттік интерфейстер

Pon деңгейі Pon интерфейстері

ODF- оптикалық тарату кросс

PDIF -оптикалық тарату шкафы

FDB -оптикалық тарату бф box

Желіде тармақтауыштарды қосудың бір деңгейлі (бір каскадты) схемасы ретінде пайдаланылуы мүмкін сплиттерлерді бір-бірінен соң бірі қосусыз, сондай-ақ тармақтағыштарды жүйелі орналастырумен көп каскадты схема құрылады. Сонымен қатар, әрбір абонент үшін өткізу жолағына қойылатын талаптар мен OLT жабдығының Ponинтерфейстерінің тармақталу коэффициенті қолданылады. Бірнеше тармақтағыштар арқылы сигналдарды беру кезінде мүмкін болатын өтпелі бұрмалауларды болдырмау есебінен байланыс сапасын арттыру. Екінші жағынан, каскадтау тарату құрылғылары мен кабельдерді неғұрлым икемді және оңтайлы бөлуге мүмкіндік береді, яғни оңтайлы тарату желісін құруға мүмкіндік береді.

Абоненттік торап ONT (ONT(ONT)— OpticalNetworkTerminal (Unit)) құрамында кіріс оптикалық интерфейс МӘНІ болуы мүмкін әр түрлі демалыс

интерфейстері: FXS, FXO, 10/100/1000 Base-T, E1, isdn BRI, RF. Абоненттік терминалдардың көрсетілген интерфейстері, өткізу жолағының технологиясы мен ресурстары PON желісін және әртүрлі ведомстволық желілер мен корпоративтік клиенттерді қосу үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

1.4 Тапсырманың қойылымы

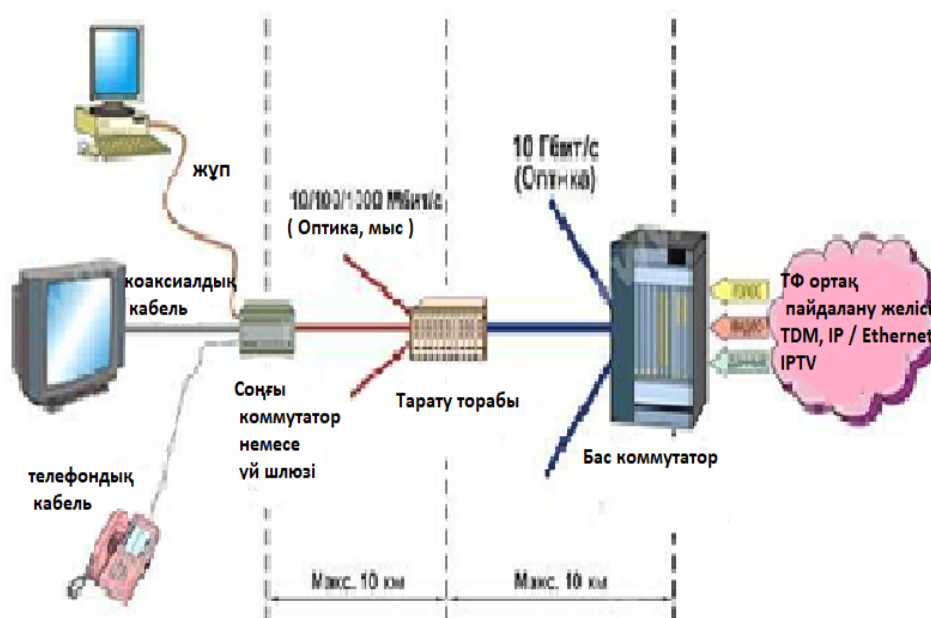
Бұл технологияның пайда болуы желілерді құру принциптеріне жаңаша қарауға мәжбүр етеді. Оптикалық талшықтардың ондаған немесе тіпті жүздеген талшықты желілері бар көп талшықты кабельдердің орнына, соның салдарынан төсеу мен монтаждауда қиын болып келеді. Яғни, пассивті оптикалық желілер технологиясы цифрлық кеңжолақты желілерде тарату сапасын жақсарту үшін ең жақсы шешімдердің бірі болып табылады. PON желісіне қамтиды до128 абоненттік түйіндерді радиусы 20 км. Өйткені абоненттік тораптар – терминальны болса, мәселе біреуінде немесе оны ажырату ықпалын қалған жоқ. Бір түйін жүздеген абонентке қызмет көрсете алады. Пассивті оптикалық желілердің қатынау желісі-кеңжолақты таратуды қамтамасыз ету үшін ең үнемді шешімдердің бірі. PON желісінің архитектурасы адамның қажеттіліктеріне байланысты өткізу қабілетін, желіні ұлғайтудың қажетті қабілетіне ие.

Жұмыстың орындау үшін талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде тарату кезінде ақпараттың сапасын бағалау қажет. Абоненттік желіні құру қағидаттарына, архитектурасына және функцияларына шолу жүргізу керек. Негізгі технологияларға және желі параметрлеріне шолу жүргізу керек. Желі жұмысының сапа параметрлерін есептеу және тәжірибелік бағалауды жүргізу қажет.

2 Оптикалық қатынау желілерінің технологиялық сипаттамалары

Оптикалық желілерде әдетте "нүкте– нүкте" немесе "нүкте–көп нүкте" ("жұлдыз") топологиялары қолданылады. Мұндай топология желіні жобалау және техникалық қызмет көрсету кезінде өте қарапайым, ақпаратты беру

жылдамдығын әр пайдаланушыға дейін шектеуге немесе арттыруға мүмкіндік береді. Ethernet белсенді оптикалық желілерінің технологиясында бірқатар елеулі кемшіліктер бар. Мысалы, белсенді жабдыққа үлкен шығындар жеткілікті үлкен және оны орнату кепілді электрмен қамтамасыз етуді талап етеді. Оптикалық кабельдерде көптеген талшықтар қолданылады, соның салдарынан құрылыс-монтаждық жұмыстар мен өлшеулерге кететін шығындар айтарлықтай. Сонымен қатар, оптикалық талшықтар, оптикалық талшықтар, талшықты қатты үнемдеудің қажеті жоқ және егер белсенді жабдықтың электр қорегін орналастыру және ұйымдастыру мүмкіндігі бар болса, жаңа құрылыста, жақсы кәбілдік инфрақұрылымда FTTB (дәлірек айтқанда, "кірме жолға дейін талшық") схемасы бойынша ең тиімді болып табылады [11].

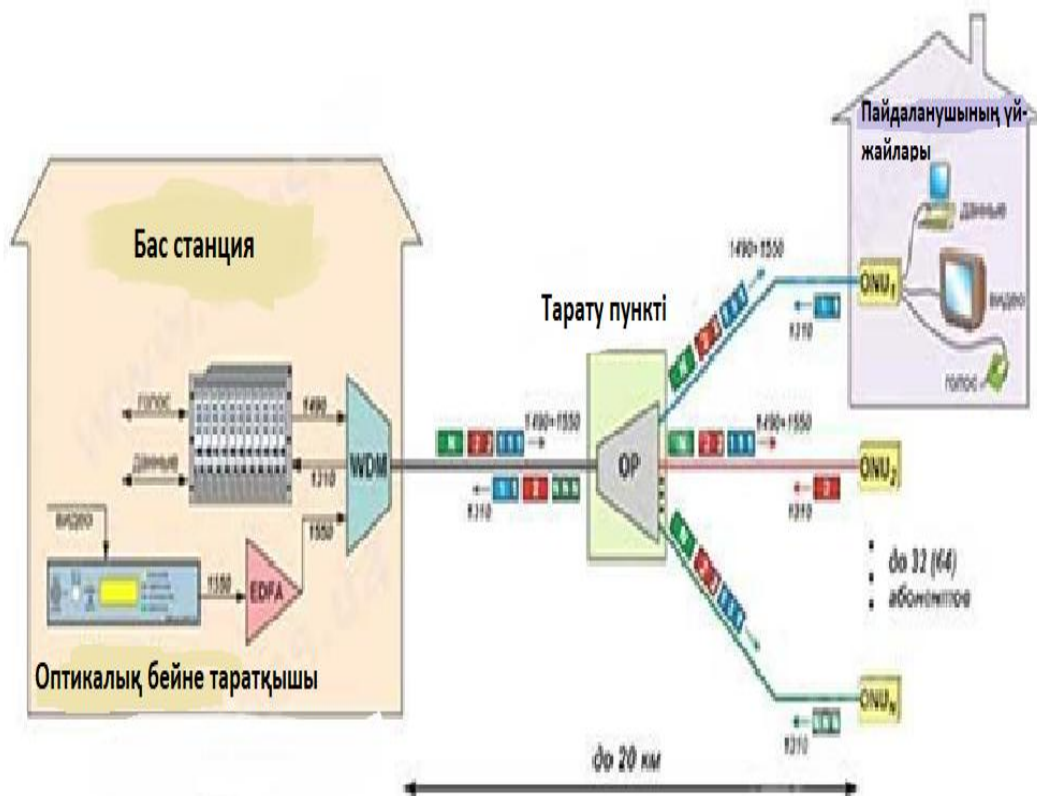


Сурет 2.1 - Оптикалық желіні ұйымдастыру

Соңғы жылдары PON (Passive Optical Network) желісіне арналған технология өте танымал болып келеді. Оның негізгі идеясы ең төменгі инвестиция кезінде үлкен өткізу қабілеті бар қатынау желісін құрудан тұрады. Бұл шешім пассивті оптикалық тармақтағыштарда, яғни белсенді компоненттерді пайдаланбай тармақталған желіні (көбінесе ағаш тәріздес топологияны) құруды көздейді. Барлық абоненттер үшін ақпарат арналарды бас станциядан – оптикалық желілік терминалға (OLT, Optical Line Terminal) - соңғы оптикалық желілік блоктарға (ONU, Optical Network Unit) дейін уақытша бөлумен бір мезгілде беріледі.

Әдетте, тарату және қабылдау бір оптикалық талшық бойынша толқындардың түрлі ұзындықтарында жүргізіледі. Абоненттен станцияға (тікелей ағыны) пайдаланылады толқын ұзындығы 1310 нм, ал станциядан абонентке (кері ағын) 1490 нм немесе 1550 нм. Оптикалық қуат. бастап шығу OLT тораптардағы желі дейді (біркелкі немесе біркелкі емес), сондықтан сигнал

деңгейі кіре берістегі барлық ONU болды шамамен бірдей. Ең жиі толқын ұзындығының бірі (әдетте 1550 нм) барлық абоненттерге теледидар сигналын беру үшін бөлінеді. Ол үшін станцияда 1310 нм (дауыс, деректер) және 1550 нм (бейне) берілетін сигналдарды біріктіру үшін WDM оптикалық мультиплексоры орнатылады. PON желісінің сұлбасы 1.6 суретте көрсетілген.



Сурет 2.2 - PON желісінің сұлбасы

Сонымен қатар, әрбір терезе құрылғысы ақпаратты тек өз терминалы үшін ғана бөледі. Сонымен қатар, әр ONU-дің кері ағынында ақпаратты белгілі бір уақытта таратады және біріктіргеннен кейін жалпы ағын барлық пайдаланушылардың сигналдары бар [12].

Абоненттік қатынау желілерінде PON технологиясы келесі артықшылықтарға ие:

- абоненттік оптикалық кәбілдерде талшықтарды үнемдеу;
- бас станцияда оптикалық сәулелендіргіштерді едәуір үнемдеу;
- ақпараттың үш түрін ұсыну мүмкіндігі – TriplePlay тұжырымдамасына сәйкес) - дауыс, бейне және деректер;
- желілік элементтерді электрмен қоректендіру қажеттілігі жоқ);
- қызмет көрсетуге арналған аздаған шығындар;
- абоненттерді қосудың қарапайым мүмкіндігі (тіпті үзіліссіз) байланыс);
- жолақты динамикалық кеңейту мүмкіндігі – қазіргі уақытта жұмыс істемейтін абоненттердің есебінен жұмыс істейтін абоненттердің берілу жылдамдығын арттыру;

- тарату жылдамдығын одан әрі ұлғайту (10 Гбит/с дейін) және одан жоғары желілік тракт жабдығын ауыстырусыз (оптикалық кабельдер, тармақтағыштар, қосқыштар);

- оптикалық мультиплексирлеу (CWDM немесе DWDM) технологиясын қолдану есебінен әрбір пайдаланушы үшін тарату жылдамдығын едәуір ұлғайтудың келесі мүмкіндігі.

Бүгінгі таңда PON-ең динамикалық дамып келе жатқан оптикалық желілік технология. Жыл сайын экономикалық дамыған елдерде PON абоненттерінің жалпы саны 30-40%-ға өсіп келеді. PON - белсенді абоненттік жабдықтың құны, әсіресе FTTH схемасында жаппай енгізуді тежейтін жалғыз маңызды фактор. Болады өссе, PON желілерінің құрылысы бойынша схема FTTB үшін көпқабатты қалалық құрылыс немесе FTTH жеке сектор үшін, коттедж қалашықтарын және офистік орталықтар.

2.1 PON желісінің типтік құрылымы

Pon классикалық желісі келесі элементтерден тұрады:

- оптикалық желілер (ағаштар) ағынын агрегациялау үшін қызмет ететін OLT (Optical Line Terminal) орталық станциялық құрылғысы);

- ODN (Optical Distribution Network) тарату оптикалық желісі,:

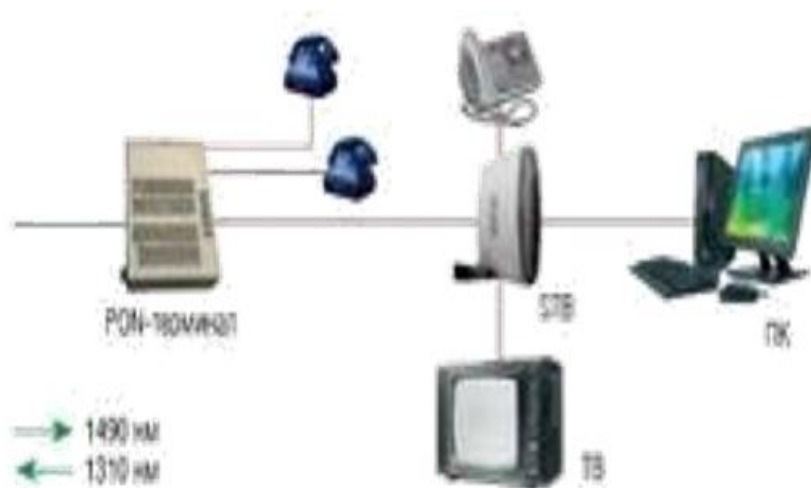
- магистральды оптикалық фидер (талшықтар);

- оптикалық сигнал тармақтайтын сплиттерлер ағаш;

-pon-желі ағашының оптикалық талшықтарын (бұтақтарын) тарататын;

-шеткі бұрылатын абоненттік кабельдер (Drop-ұштары), олар: оптикалық талшық, Ethernet, xDSL, E1 кәбілдері болуы мүмкін;

- ONU (Optical NetworkUnit) немесе ONT (Optical Network Terminal) соңғы абоненттік құрылғылары, олардың түріне байланысты тарату шкафында, ғимаратта, абонент үй-жайында орнатылуы мүмкін және соңғы абоненттерге құрылғының түрі мен моделіне байланысты әртүрлі қатынау порттарын ұсынады: Ethernet, кейде VDSL-порттың негізгі түрі, қосымша-кабельдік теледидар, телефонды қосу, E1



Сурет 2.3 - PON жабдығын басқару және мониторинг үшін қызмет ететін MS (Access Management System) желісін басқару жүйесі

2.2 PON технологиясының артықшылықтары

PON технологиясы басқа технологиялар алдында бірқатар артықшылықтарға ие [13]:

- желіні құру құны төмен. Бір оптогалшық арқылы көптеген абоненттік терминалдарды жүзеге асыруға болады, бұл талшықты үнемдеуге мүмкіндік береді;

- желіні пайдалануға және техникалық қызмет көрсетуге арналған төмен шығындар. Тарату желісінде пассивті жабдықтар қолданатындықтан;

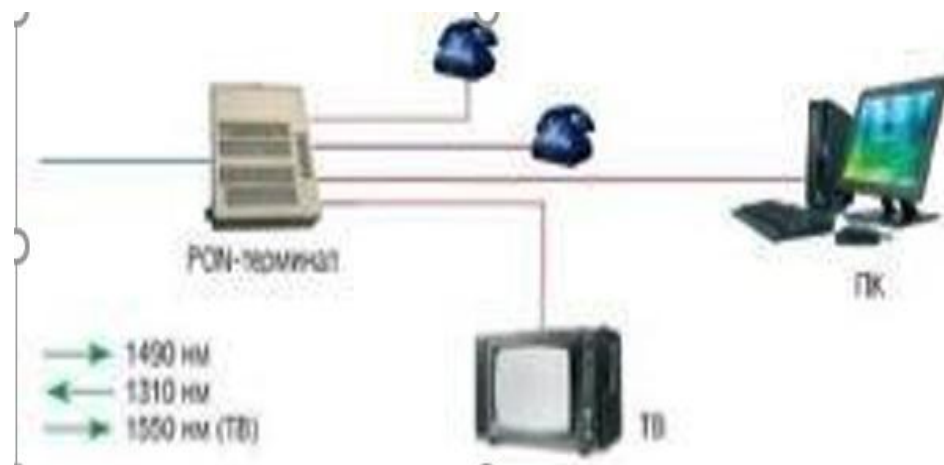
- желіні біртіндеп арттыру мүмкіндігі. Жаңа тораптарды енгізгенде жұмыс істеп тұрған жұмыс желісіне әсер етпейді;

- тарату инфрақұрылымын құрудың келешегі. Желіні одан әрі дамыту және үлкен Өткізу жолағы бар сапалы мультимедиялық қызметтерді ұсыну үшін оптикалық тарату желісін салу кезінде жақсы негіз қаланады;

- сенімділік. Желідегі белсенді элементтердің аз саны жүйенің сенімділігін анықтайды және сезімталдықтың төмендеуіне, байланыстың аралас желілерінің әсеріне, оларға әсер етудің азаюына ықпал етеді;

- жоғары икемділік. PON технологиясы бойынша тарату желісін құру басқа оптикалық талшықты технологияларды пайдалану сияқты талшықтардың шоғырын емес, тек бір ғана оптикалық талшықты қолдануды талап етеді. Осының арқасында Шина немесе ағаш тәрізді топология бойынша желіні құруға болады, бұл экономикалық тұрғыдан өте тиімді. Технологияның икемділігі оны FTTx жанұясының кез келген желілік конфигурацияларында пайдалануға мүмкіндік береді

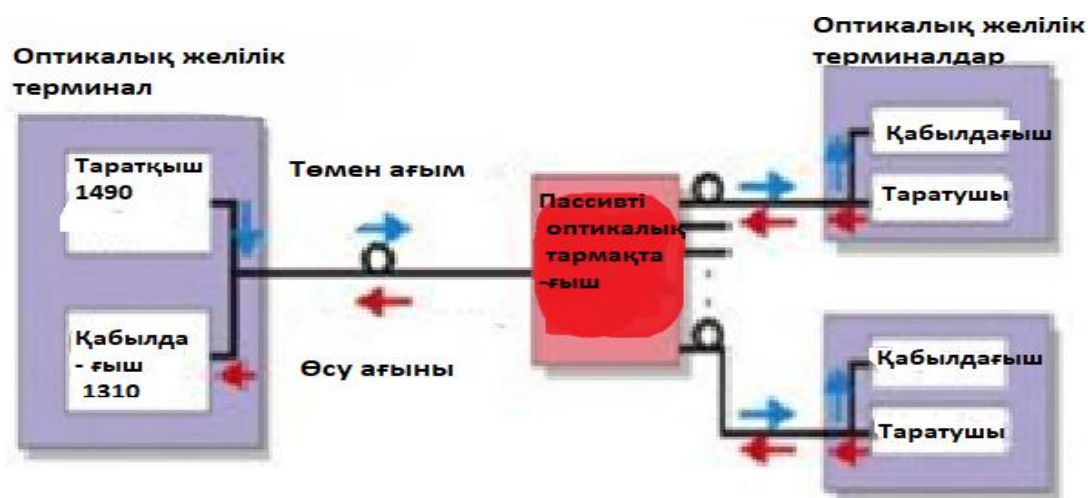
- кез келген модель бойынша бейне ұсынумен TriplePlay қызметін көрсету мүмкіндігі: Кәбілдік Теледидар қызметі түрінде (2.4-сурет) немесе IPTV қызметі түрінде (2.5 сурет).



Сурет 2.4 - Кабельдік бейне қызметін ұсыну

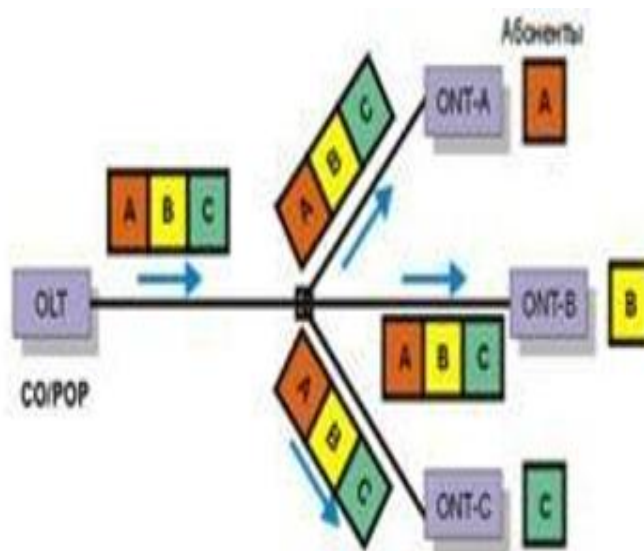
2.3 Ақпаратты берудің әртүрлі технологиялары

Байланыс қызметтерін ұсыну үшін абонентке WDM (Wavelength Division Multiplexing) технологиясы қолданылады. Бұл технология абонентке және абоненттен әртүрлі толқын ұзындықтарында сигналдарды беруді жүргізеді (тиісінше 1490нм және 1310нм). Теледидар бейнесіне бөлек шығатын ONU/ONT кейбір түрлері 1550 нм толқынының жеке ұзындығына теледидар бейнесінің оптикалық талшығына "араласуы" мүмкін.



Сурет 2.5 - PON желісінің жалпы құрылымы

Әрбір толқын ұзындығы үшін арналарды уақытша бөлу технологиясы абоненттен де, абонентке де екі бағытта да қолданылады. Бұл технология суретте көрсетілген.



Сурет 2.6 – Абоненттер шыққан ақпаратты тарату

Жоғарыда көрсетілген жағдайларда барлық абоненттерге әр бағытта байланыс арнасын өткізудің тең бекітілген кепілді жолағы бөлінеді. Бұл жерде қазіргі уақытта PON-желілердің негізгі 2 стандарты пайдаланылатынын атап өту қажет:

- GPON(Gigabit PON), GFP көлік протоколы (depeгіc framing protosol). Төмен түсетін ағын-1490 нм, 2,4 Гбит / с, жоғары түсетін ағын-1310 нм, 1,2 Гбит / с;

- GEPON(PON), көліктік хаттама - Ethernet. Төмен ағым - 1490 нм, 1,2 Гбит / с, өсу ағыны-1310 нм, 1,2 Гбит / с;

GPON стандартының жабдығы GEPON-мен салыстырғанда абонентке бағытталған екі үлкен байланыс арнасын Өткізу жолағы бар және TDM-трафикті тарату үшін бейімделген (E1 порттары бар).

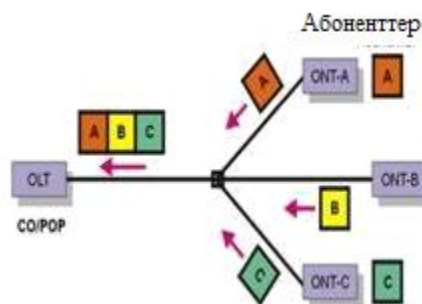
Алайда, жағдайлар бар:

- абоненттердің бір бөлігі, ағымдағы сәтте ақпаратты қабылдауды/беруді жүзеге асырмайды немесе өшіріледі (байланыс қызметтерін пайдаланбайды), нәтижесінде байланыс арнасының " жай " жолағы бар;

- әртүрлі абоненттерге арнаны өткізу жолағы қажетті байланыс;

- кейбір абоненттерге байланыс арнасын Өткізу жолағы уақытша талап етіледі.

Мұндай мәселелерді шешу және байланыс арнасын өткізу жолағын неғұрлым тиімді пайдалану үшін өткізу жолағын динамикалық өзгерту мүмкіндігі қарастырылған. Байланыс арнасын өткізу жолағын статикалық және динамикалық бөлу технологияларының сипаттамасы суретте көрсетілген.



Сурет 2.7 - Өткізу жолағының статикалық бөлінуі

2.4 Абоненттік қатынау құру технологиялары

ONU/ONT жабдығын орналастыру орнына байланысты тікелей тұрғын үй абоненттің ажыратады түрлі FTTx технологиясы құру PON-желілері. LTE технологиясының сипаттамасы 1.14 суретте көрсетілген. FTTB, Fttb, FTTB, FTTH технологиялары үшін (onu/ONT подъезде орнатылған жағдайда) көппортты ONU/ONT (қазіргі уақытта 24 портқа дейін) қолданылуы мүмкін. PON-желілерді құру кезінде, сондай-ақ 1.1-кестеде ұсынылған ақпаратты берудің пайдаланылатын технологиясының (GEPON немесе GPON) түріне байланысты параметрлердегі айырмашылықты ескеру қажет.:

Кесте 2.1 - GEPON/GPON параметрлерін салыстыру

Параметрлері	GEPON	GPON
Оптикалық бюджет	30,50 дБ	28,50 дБ
Абоненттер бағытындағы жолақ	1,20 Гбит/с	2,40 Гбит/с
Абоненттерден бағыттағы жолақ	1,20 Гбит/с	1,20 Гбит/с
Абонентке дейінгі максималды қашықтық	20,0 км	20,0 км
ONU/ONT максималды саны	32–20,0км дейін	32–до 20 64,0 – до 12,0 км
TDM-трафикті беру мүмкіндігі (E1)	Жоқ	Иә

2.5 Параметрлерді талдау

Соңғы уақытта салынып жатқан оптоалшықты қол жеткізу жүйелері әртүрлі архитектуралар мен технологияларға негізделеді. Бұл технология үшін мұқият ойластырылған стандарттар және қажетті жабдықтың қол жетімділігі үлкен тәуекелсіз операторлардың желілерін құруды анықтайды. Интернет операторлары қызметінің табыстылығы-осы саланың қарқынды дамуына ынталандыру. Мұндай типтегі желілер тарапынан бәсекелестік қысым ірі байланыс операторларын қол жеткізудің оптоалшықты желілеріне инвестиция салуға ынталандырады деп болжауға болады. Байланыс операторларының PON-пассивті оптикалық желілер желілерін енгізуі бірінші кезекте қолда бар инфрақұрылыммен байланысты, осыған байланысты абоненттердің көптеген сервистерге жазылуының үлкен пайызымен болжанатын қатысу нүктелерін қысқарту мүмкін. Мысал ретінде Жапонияны және Оңтүстік Кореяды келтіреміз. Бұрын айтылғандай, бұл елдерде EPON технологиясы осы елдерде негізінен өрістетілетін кабель өлшеміне шектеулері бар әуе желілерін пайдалануға байланысты таратылған. Мысалы, Еуропада, негізінен "нүкте-нүкте" топологиясымен Ethernet FTTH негізіндегі конфигурацияларды, кейде "сақина" топологиясымен Ethernet-сервистерді пайдалану. Қазіргі уақытта PON жүйесі Еуропада нашар таралған, өйткені еуропалық FTTH жобаларының басым бөлігін муниципалитеттер, коммуналдық қызметтер мен тұрғын үй кооперативтері жүзеге асырады. Тұрғын аудандарда ГОБЖ құру үшін үлкен инвестициялар қажет, олар келесі 30-40 жыл ішінде пайда әкеледі [14].

LTE желісінің архитектурасын пайдалану кезінде, егер қосымша инвестициялар жүзеге асырылмаса, қысқа мерзімді перспективада оптоалшықты инфрақұрылымға салынған салымдарда үнемдеу болашақта қымбат тұратын оптоалшықты инфрақұрылымдарды пайдалануды айтарлықтай шектеуі мүмкін.

Жалпы алғанда, бұл FTTH желілерін пайдалану туралы емес, тек олар қашан және қаншалықты тез өрістетілетіндігі туралы. Соңғы жылдары кең жолақты желілердің абоненттері үшін деректер алуды жекелендіру және олардың сенімділігін арттыру үрдісі ұлғаюда. Сондықтан Ethernet FTTH, PON желілерін пайдалануды кеңейту орын алады.

Бұл технологиялар, олардың кемшіліктеріне қарамастан, сервис-операторлар үшін үлкен қызығушылық тудырады және даму перспективасы бар, өйткені олар қызметтерді дербестендіруге мүмкіндік береді және өткізу жолағын ұлғайту және кез келген ақпаратты беру үшін кең мүмкіндіктер береді, оның ішінде дауысты беру және жоғары сапалы бейне тарату және соңғы жылы интерактивті басқарылатын қызметтердің танымалдығын сатып алады. Сонымен қатар, қызмет көрсету түрлерін анықтағаннан кейін, жобаланатын абоненттік қатынау жүйесін таңдаумен анықталады. Бірінші кезекте оператор қандай қызметтерді ұсынатынын шешу, ағымдағы сәтте әртүрлі трафик түрлерінің арақатынасын бағалау және жақын болашақтағы жағдайды болжау қажет.

Содан кейін желіні құру үшін қажетті технологияны таңдауға болады. Соңғы уақытта салада материал мен еңбек сыйымдылығын есептейтін, байланыс қызметтерін кеңейтетін әр түрлі ақпаратты берудің сапасы мен тиімділігін арттыру үшін неғұрлым жаңа және перспективалы байланыс құралдарын жасауда айтарлықтай табыстарға қол жеткізілді. Оларға талшықты-оптикалық тарату жүйелерін (ВОСП) жатқызуға болады. Мұндай жүйелерді пайдалану радиоэлектрониканың, атом энергетикасының дамуын, телекоммуникациялық саладан басқа ғарышты игеруді алдын ала айқындайды. АҚЖЖ құру және қолдану әлемнің барлық экономикалық дамыған елдерінде жүргізіледі [15].

Талшықты-оптикалық тарату жүйелеріне мұндай көңіл келесі негізгі қасиеттерге байланысты:

- сызықтық;
- жоғары өткізу қабілеті;
- жиіліктің кең ауқымында аз өшу;
- сыртқы электромагниттік кедергілерден жоғары қорғалған;
- шағын және жеңіл.

Нақты трассалар бойынша төсеудің жарамдылығы. Оптикалық талшықтардың 70-ші жылдардың басында аз шығыны бар әзірленгеннен кейін жоғары сенімді кәбілдік желілерді құру мүмкін болды. Негізгі бірегей қасиеттері болып саналады :

- жоғары өткізу қабілеті,
- электромагниттік кедергілердің аз өшуі және сезімталдығы .

Олар талшықты кабельдер өндірісінің өнеркәсіптік технологияларын әзірлеуді, мамандандырылған жабдықтар мен АЖЖЖ элементтік базасын әзірлеуді ынталандырды: сәуле шығарғыштар, модуляторлар, фотоқабылдағыштар, ажыратқыш қосқыштар, тармақтағыштар және басқа да элементтер. Сондай-ақ, талшықты кабельдердің негізгі артықшылықтары мыс пен қорғасынның үнемдеуін есептеуге болады. Оптикалық талшықты дайындау кезінде кварц, көп компонентті шынылар және полимерлер сияқты материалдар пайдаланылады. Негізгі міндеттердің бірі талап етілетін оптикалық және физико-механикалық параметрлері бар кварц шынысы мен Кабельдерді дайындау технологиясын өңдеуден тұрады. Бұл ВОСП артықшылықтарын іске асырудың маңызды шарты болып табылады.

Қазіргі таңда PON негізгі нұсқаларының бірі Gigabit PON технологиясы болып табылады. GPON операторларға жоғары жылдамдықты қатынау желісі үшін тиімді шешім ұсынады ("соңғы миля"), оптикалық талшықтарды едәуір үнемдеуді қамтамасыз етеді, сондай-ақ өзінің пассивті элементтерінің арқасында жоғары сенімділікті қамтамасыз етеді. Қазіргі бар және пайда болатын xPON кең жолақты желілері стандартталған және абоненттерге 10 Гбит/с дейінгі жылдамдықты төмендейтін байланыс желісінде және ~ 2,5 Гбит/с жоғары бағытта ұсыну қажет. Кетпейтін (DS - кетпейтін) бағыты алынады станциялық жабдық (OLT - терминал оптикалық желінің) абоненттік құрылғы (ONT - терминал оптикалық желі), ал шығып келе жатқан (US - Құрайды) - дан ONT-да жөн көрдім. Пайдаланушыға ұсынылатын кең жолақты қызмет көрсетудің

кепілді жылдамдығы клиенттерді тартудың маңызды критерийлерінің бірі болып саналады. Байланысты өсіп келе жатқан сұраныспен қызмет мультисервистік кең жолақты қатынау абоненттері үшін қажеттілігі одан әрі ұлғайту бұрыннан бар желілерінің өткізгіштік қабілетін кезінде ең аз мүмкін болатын шығындар. GPON желісі болашақта тұтынушылардың қажеттіліктерін толық қанағаттандыра алмайды. Алайда, әр жазылушыны толқын ұзындығына бөле отырып, оптикалық желілердің өткізу қабілетін айтарлықтай арттыра аласыз. Перспективті технологиясы болып саналады спектрлік тығыздау формаларының көріністері бойынша бөлумен толқын ұзындығы арналарын, спектрлік арналар орналасқан қашықтықта $\Delta\lambda$ бір-бірінен масштабында ұзындығы толқындар. 694.1 стандартымен реттеледі және 100, 50, 25, 12,5 ГГц құрауы мүмкін. Мұндай пассивті қатынау желілері WDM-PON деп аталады.

WDM-PON (пассивті оптикалық желі мультимплексерлік бойынша бөлумен толқындар) - пассивті оптикалық желісі бөле отырып, спектральды арналарды білдіреді мақсаты әрбір толқын ұзындығы бойынша әрбір абонентке беріледі. WDM-PON желісін құрудың екі нұсқасы бар:

- әр абонент үшін екі толқынды тағайындау (біреуі қабылдау үшін және біреуі тарату үшін));

- егер сіз жазылушыға толқынның бір ғана ұзындығын тағайындасаңыз (бұл жағдайда сіз осындай желіде жұмыс істейтін жазылушылар санын екі есе көбейте аласыз).

Технологияны пайдалана отырып, әрбір абонентке 1 Гбит/с дейін өткізу қабілетін арттыруға қол жеткізуге болады. WDM-PON желісінің келесі ерекшеліктері бар:

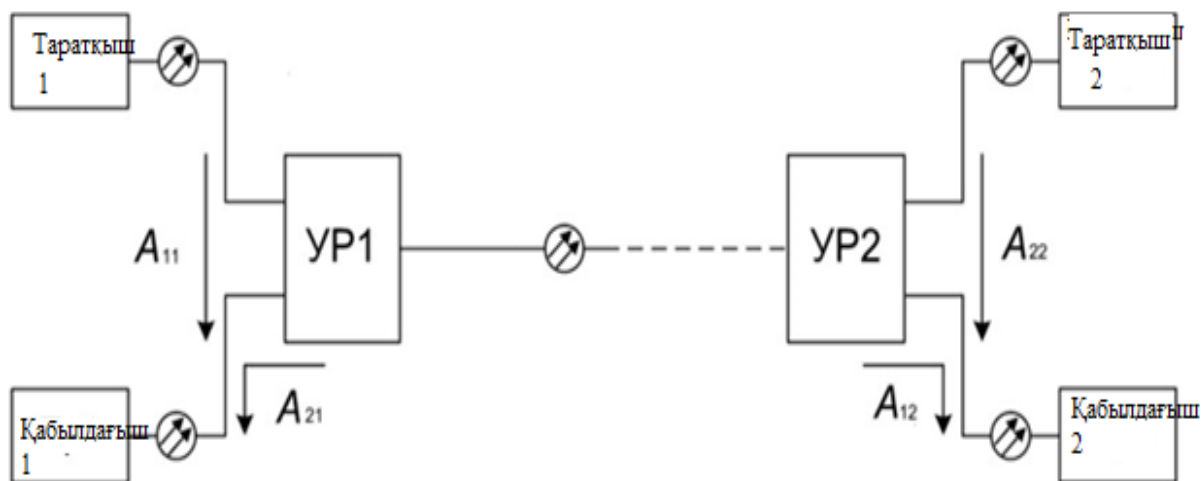
- желі ұзындығының өзгеруінің дестенің орташа кідіріс уақытына әсері WDM-PON сегментіне қосылған абоненттер санының ұлғаюымен арттырылмайды, себебі қатынау уақыты бойынша бөліну жоқ;

- қызмет көрсету аралығының өзгеру аралығының кері арнада дестелерді (кадрларды) беруді кідіртудің орташа уақытына кері арнада WDM-PON технологиясының көмегімен қатынаудың ұзақ процесі мен шағын көлемнің болмауына байланысты қол жеткізіледі [16].

3 PON физикалық деңгейі үшін бағалау есебі

3.1 Дисперсиялық және энергетикалық сипаттамаларды есептеу

Оптикалық сигналдарды бұрмалау себептері бойынша OLT және LE арасындағы магистральдің топтық учаскесінде DWDM оптикалық арналары қуатының рұқсат етілген деңгейі G.652 стандартының талшығы үшін 1530-1565 нм (с диапазоны) немесе 1565-1625 нм (1 диапазоны) толқындардың спектрінде +17 дБм (50 мВт) аспауы тиіс.



Сурет 3.1 - Дуплексті арнаның құрылымы

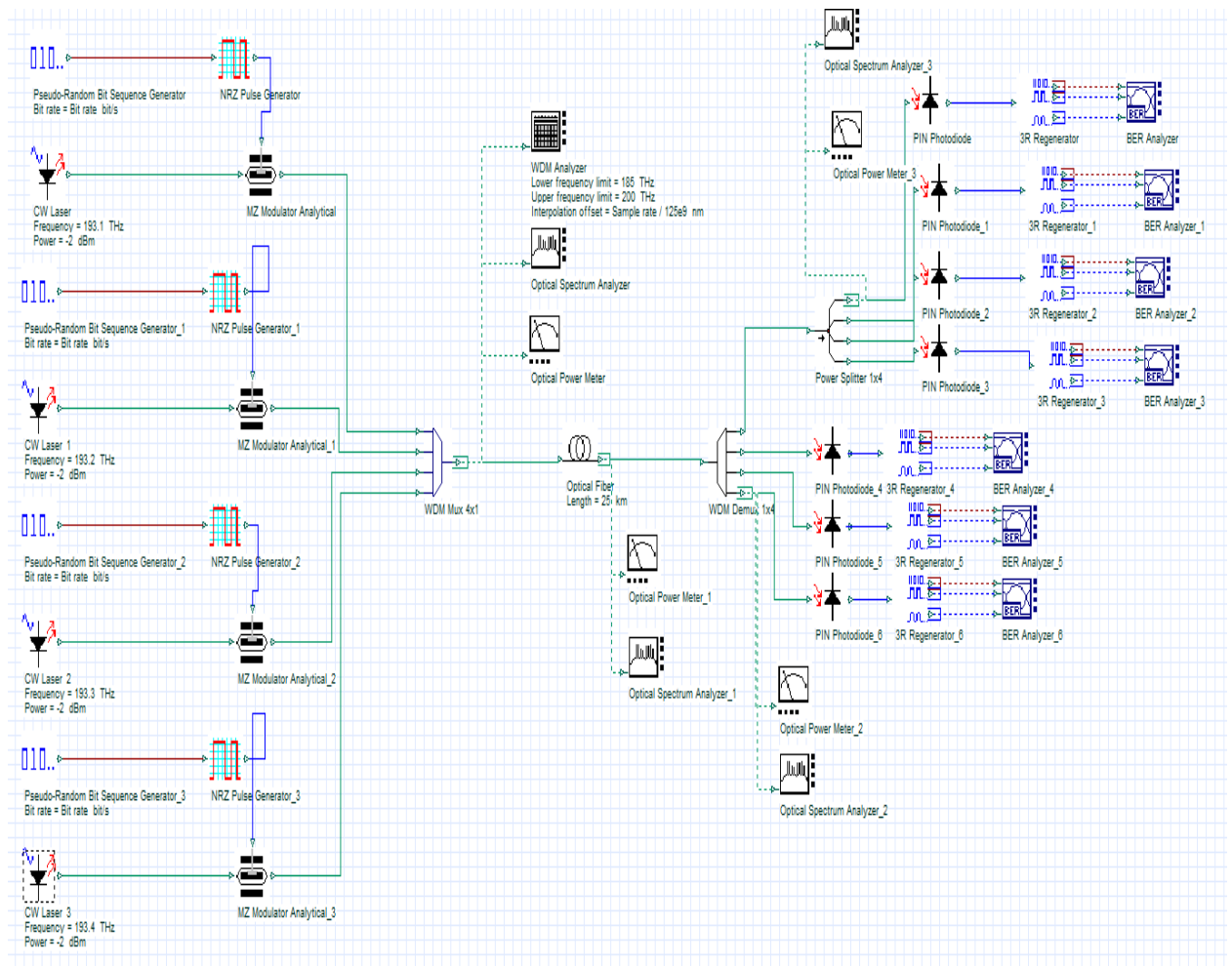
Құрылымы көрсетілгеннен өзге дуплексті арна сегментінде ұсынылған желі-суретте келтірілген 2.2. Оның құрамына мыналар кіреді: 1 - Пер.1 - Тараптың таратқышы, 1 - Пр.1-Тараптың қабылдағышы, 1-УР 1-Тараптың бөлу құрылғысы; 2-тарап үшін ұқсас: УР 2-тарап; 2-пер. 2-Пр. 2-Тараптың таратқышы. 1 - ші Тараптың қабылдағышының кіруіне $P_{с1} = P_2 A_{21}$ қуатымен пайдалы сигнал және $P_{пом} = P_1 A_{11}$ қуатымен интерференциондық кедергі сигналы түседі, мұнда P_2 - желінің қарама - қарсы жағындағы таратқыштың қуаты, A_{21} - Пер.2 - Пр.1, P_1 -таратқыштың 1-ші жағындағы қуаты, A_{11} -ИНТЕРФЕРЕНЦИЯНЫҢ өшуі, қарым-қатынаста көрсетілген және УР сипаттамалары, сондай-ақ шағылысу және кері шашырату арқылы анықталатын интерференцияның өшуі. Бұл өшіруді окшаулаудың өшуі деп атаймыз (әр жағында). Кез келген басқа технология сияқты WDM технологиясы артықшылықтармен қатар жаңа проблемаларды әкеледі. Қазіргі заманғы WDM жүйелерінің сенімді және тұрақты жұмысы оптикалық сипаттамалардың сапасын және жүйенің мінез-құлқын бақылаусыз мүмкін емес.

Кесте 3.1 - Бастапқы деректер

Параметрлері	Диапазоны	Номиналды мәндер
--------------	-----------	------------------

Сәуле шығару көзі (шығ. Pout қуаты)	0...18 dBm	0...18 dBm
Деректерді беру жиілігі (арна аралық интервал)	193.1-193.4 THz (0.2nm) 193.1-193.9 THz (0.1nm)	193.1-193.9 THz
Дистанциясы (L)	20-50 km	
Талшық түрі(өшу)	G.652 (SMF)	0.21 dB/km
	G.655 (SMF)	0.19 dB/km
Сплиттерлеу каскады	1x4	6db
	1x8	10db

Optisystem-да салынған. L=25 km дистанциясы кезінде 1x4 сплиттерді қолдану схемасы.



Сурет 3.2 - WDM-PONc сұлбасы

Optisystem-де 1x4 сплитерін қолдану арқылы бұл схемада 4 толқын ұзындығы қосылған модулятор, импульс генератор және линияға кететін сигналды генерациялайтын лазердің өзі қолданылған. Әрбір толқын ұзындығынан

сигналдар WDM мультиплексорында жиналады және 10 дБ сигнал қуаты бар желіге жіберіледі.

Желі бойынша өткеннен кейін сигнал өшуге ұшырайды. Келесі кезеңде сигнал мультиплексорға жетеді. Мен толқынның бір ұзындығын бөлек бөліп алдым және оны 1x4 тармақтағышын пайдаланып бөлдім, қалғандары сплиттермен бөлінбестен келеді. Төменде спектр талдауын байқай алатын жүргізілген жұмыстардың скриншоттары мен суреттерін көрсетті, қуаттың оптикалық өлшегішіндегі мәндердің нәтижелері, олар әрбір өткен желі элементінен кейін өшеді.

Бұдан әрі күшейткішті қосу және сәйкесінше деректерді беру қашықтығын 25 км-ден 50 км-ге дейін ұлғайту қарастырылған.

WDM PON физикалық көп нүктелі оптоалшықты инфрақұрылымда бірнеше түрлі толқындарды пайдаланады, ол белсенді компоненттерден (PON) жоқ. Олардың әрқайсысы әрбір оптикалық желілік блок үшін (ONU) 1 Гбит / с жылдамдықпен толқын ұзындығы бар бөлінген арнаны қамтамасыз етеді.

Әр түрлі толқын ұзындығын пайдалану бір физикалық талшықтың ішінде трафикті бөлуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде физикалық топологиядағы нүкте - нүкте логикалық қосылыстарды қамтамасыз ететін желі алынады. WDM-PON операторларға үлкен қашықтықтағы бірнеше соңғы нүктелерге кең өткізу жолағын ұсынуға мүмкіндік береді. Бір талшықты пайдалану WDM көмегімен қол жеткізіледі: ONT 1310 нм ұзындығында сигналды таратады, OLT - 1490 нм. Сонымен қатар, бұл сигналды тарату үшін, сондай - ақ, радио жиілік диапазонында (РЧ бейне), кабельдік теледидар желілерінде пайдалануға болады. IP-бейне қызметтердің кең спектрін ұсына алады.

Оптикалық талшықтың қуаты мен талшықтың ұзындығын төмендету (ITU-T G.663/2011 ұсынымы бойынша). Спектралды арналарды ұйымдастыру кезінде әрбір ркі арнасы үшін рұқсат етілген қуат деңгейі WDM демультимплексорынан кейін (ITU-T G. 692/1998 ұсынымы бойынша) шамадан аспайды [17]:

$$P_{chMPI-S} = P_{max MPI-S} - 10 \lg N, \quad (3.1)$$

мұндағы $P_{chMPI-S}$ – әрбір арна үшін рұқсат етілген қуат деңгейі;

$P_{max MPI-S}$ – ең жоғары қуат деңгейі (<17,0dB);

N – каналдар саны.

$$P_{chMPI-S} = 17,0 - 10 \lg 40 = 0,980 \text{ дБм},$$

$$P_{chMPI-S} = 17,0 - 10 \lg 64 = -1,060 \text{ дБм}.$$

40 арна үшін бір арнаның қуат деңгейі +1,0 дБм аспайды. WDM демультимплексорындағы қуат шығынын ескере отырып (шамамен 2 дБ) [75], сонда:

$$P_{chMPI-S} = 0,98 - 2 = -1,020 \text{ дБм},$$

$$P_{chMPI-S} = -1,06 - 2 = -3,060 \text{ дБм}.$$

Бұл сигнал арнасы 4: 16: 16-ге бөлінеді, бұл үлкен радиус әсерінің желісінде көзделген 1024 бөлудің жалпы коэффициентін құрайды

$$\alpha_{разв. бц} = \sum \alpha_{разв}, \quad (3.2)$$

мұндағы $\alpha_{разв}$ – энергетикалық шығындар планарлы сплиттерлерде келтірілген [10].

$$\alpha_{разв. бц} = 7,40 + 13,90 + 13,90 = 35,20 \text{ дБ}.$$

ONT терминалдарын орналастыру қашықтығын ескере отырып, 10 км дейін талшықты жарық өткізгіштерде жоғалтулар жетуі мүмкін:

$$A = L \cdot \alpha_s + N_p \cdot A_p + N_c \cdot A_c, \quad (3.3)$$

мұндағы L – терминалдарды орналастыру дистанциясы ONT;

α_s – кабель желісіндегі талшықтың өшу коэффициенті (толқын ұзындығы 1550 нм 0,270 дБ / км алынған);

A_c – дәнекерленген қосылыстағы орташа шығындар (0,050 дБ);

N_c – дәнекерленген қосылыстар саны;

A_p – қосылымдағы орташа шығындар (0,2дБ),

N_p – алмалы-салмалы қосылыстар саны 4.

Талшықты дәнекерленген түйіспелер саны кәбілдің құрылыс ұзындығы санының бірлігіне аз (4 км тең есеппен қабылданған). Қолдап қашықтыққа орналастыру терминал ONT құрылыс ұзындығы кабелін аламыз, екі құрылыс бойынша ұзындығы 4 км. және бір 2 км. Тиісінше орындар саны өсіру желісі сияқты 2.

$$A = 10,0 \cdot 0,270 + 4,0 \cdot 0,20 + 2,0 \cdot 0,050 = 3,60 \text{ дБ}.$$

Осылайша, сезімталдығы нашар оптикалық қабылдағышты қолдану қажет болады [18]:

$$P_{IP.ox} = P_{chMPI-S} - \alpha_{разв. бц} - A. \quad (3.4)$$

$$P_{IP.ox(40)} = -1,020 - 35,20 - 3,60 = -39,820 \text{ дБм},$$

$$P_{PP.ox(64)} = -3,060 - 35,20 - 3,60 = -41,860 \text{ дБм.}$$

Спектрлік арналар санын қысқарту және олардың әрқайсысының қуатын арттыру немесе әрбір ONT-те SOA оптикалық күшейткіштерін қолдану арқылы қосымша оптикалық күшейткіштерді пайдалану сізге қажетті энергетикалық әлеуетке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, 1 оптикалық қуатты пассивті бөлгіштерді AWG оптикалық сүзгілерімен (Arrayed Waveguide Grating) толқындарды бөлу үшін толқындық торға ауыстыра отырып, спектральды арналардың үлкен санын мультиплекстеуге болады, бұл берілетін қуаттың әсерін едәуір төмендетеді оптикалық сигналдар. AWG (демультиплексор) планарлы сүзгісіндегі жоғалтулар 1:32, әдетте, 6 дБ аспайды [19]. Бұл оптикалық қуаты шектеулі ұзақ желілер үшін маңызды.

Таратқыштың қуаты мен қабылдағыштың сезімталдығымен қамтамасыз етілген аралықтың максималды ұзындығын есептеуге болады. Ол үшін P_{opt} дБ дБ энергетикалық әлеуетін есептеу қажет:

Формуланы қолданамыз:

$$P_{opt} = P_{trans} - P_{rec}, \quad (3.5)$$

мұндағы P_{trans} – таратқыштың шығысындағы сигнал деңгейі, дБм;
 P_{rec} – қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейі, дБм.

Кесте 3.2 - OSN 8800 жабдығының оптикалық сипаттамалары

Параметр	Мәні
Сызықтық интерфейс, желідегі беру жылдамдығы / жүктеме	OUT, 120 / 103 Гбит/с
Шығу қуаты	-7...0 дБм
Таратқыштың жұмыс ұзындығы диапазоны	1528,7 – 1567,1 нм
Қабылдағыштың сезімталдығы (BER=10 ⁻¹²)	-18 дБм
Қабылдағышты қайта тиеу (BER=10 ⁻¹²)	0 дБм
OSNR _T (0,1 нм, BER=10 ⁻¹²)	12,5 дБ

$$P_{opt} = 0 - (-18) = 18 \text{ дБм.}$$

Аралықтың максималды ұзындығы:

$$L_{max} = P_{opt} / \alpha = 18 / 0.19 = 94.7 \text{ км}$$

мұндағы α – талшықтың өшу коэффициенті (0.19 дБ/км)

Осылайша, арналар санының артуымен (бір оптикалық арнада сигнал қуатының азаюымен) тарату қашықтығы азаяды.

Мысалы, оптикалық сигнал күшейткішін қолдану арқылы 25/35/40 км қашықтықты қарастырайық.

Оптикалық жол көлденең қимадан тұрады - екі терминал арасындағы қашықтық (регенерация) және терминал мен күшейткіш арасындағы аралықтар (күшейту секциясы). Күшейткіштер жоқ. Оптикалық күшейткіштерді секцияларға орналастыра отырып, біз барлық жолақтардың әлсіреуі бірдей және бір күшейтумен өтелуі үшін ұмтылуға тиіспіз.

SES-92 G. 692 ұсынысына сәйкес, MPI-R интерфейсіндегі OSNR жұмыс мәні әрбір арнада тарату кезінде FEC қолданылғандай 12,5 дБ кем болмауы тиіс. Әр түрлі қашықтықтағы аралықтарда өшуді есептейміз [20].

$$L = 25 \text{ км кезінде } A = 25 * 0.19 = 4.75 \text{ дБ,}$$

$$L = 35 \text{ км кезінде } A = 35 * 0.19 = 6.65 \text{ дБ,}$$

$$L = 40 \text{ км кезінде } A = 40 * 0.19 = 7.16 \text{ дБ.}$$

Біз оптикалық сигналдың шуылға (OSNR) қатынасын есептейміз және оны стандарттармен салыстырамыз. Оптикалық сигналдың шуылға қатынасы бір N-арналы s-WDM арнасы үшін MPI-R интерфейсінде есептеледі.

OSNR есептеу үшін, біз алдымен MPI-s интерфейсіндегі орташа сигнал мен сигнал деңгейін есептейміз.

3.2 Оптикалық сигналдар қуатын есептеу

Күшейткіштің шығысындағы арнаның орташа қуаты (MPI-S интерфейсінде) тең болады.]:

$$P_{chMPI-S} = P_{\max MPI-S} - 10 \lg N - \Delta p, \quad (3.6)$$

мұндағы Δp – біздің жағдайымыз үшін пайдалану мерзімінің соңына қарай MPI-R интерфейсінде OSNR қажетті мәнін қамтамасыз ететін пайдалану қоры: $\Delta p = 2$ дБ.

$$P_{chMPI-S} = 17 - 10 \cdot \lg 40 - 2 = -1.02 \text{ Бм}$$

Бірінші аралықтағы өшуді ескере отырып, OLA1 сызықтық күшейткішінің кірісіндегі қуат деңгейі R1 нүктесіндегі OLA1 құрайды:

$$P_{chR1} = P_{chMPI-S} - \alpha_{p.1} \quad (3.7)$$

$$P_{chR1} = -1.02 - 4.75 = -5.95 \text{ дБм}$$

$\xi_{OLA1} = 20$ дБ күшейткіші бар S1 нүктесінде OLA1 сызықтық күшейткішінің шығысындағы арналық сигнал қуатының деңгейі тең:

$$P_{chS1} = P_{chR1} + \xi_{OLA1} \quad (3.8)$$

$$P_{chS1} = -5.95 + 20 = 14.05 \text{ дБм}$$

ОВУ алдын ала күшейткішінің кірісіндегі арна сигналының қуат деңгейі тең болады:

$$P_{chMPI-R} = P_{chS1} - \alpha_{p.2}$$

$$P_{chMPI-R} = 14.05 - 6.65 = 7.4 \text{ дБм}$$

Кіру транспондердің сигнал түседі 7.4 дБм.

Оптикалық модульде қабылдағыштың сезімталдығы -18 дБм құрайды, артық жүктеме деңгейі 0 дБм құрайды. Осылайша, бер қателер коэффициенті қалыпты күйінде қалады.

R1-R1 интерфейсіндегі кедергі қуаты вакуумның нөлдік флуктуациясына байланысты бөгеуілдерді есепке ала отырып, тең болады [10]:

$$P_{ASE MPI-R} = P_{ASE MPI-R'} + P_{HФВ}, \text{ дБм} \quad (3.9)$$

$$p = hf\Delta f \quad p = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 193,1 \cdot 10^{12} \cdot 50 \cdot 10^9 = 6,4 \cdot 10^{-9} \text{ мВт}$$

Мәндерді формулаға қойыңыз (3.10)

$$P_{ASE MPI-R} = 0,73 \cdot 10^{-6} + 6,4 \cdot 10^{-9} = 4,73 \cdot 10^{-5} \text{ мВт}$$

Алынған мәнді дБм-ге аударамыз

$$P_{ASE MPI-R} = 10 \lg(4,73 \cdot 10^{-5}) = -43,24 \text{ дБм}$$

Барлық күшейткіштердің кіріс және шығыс сигнал/шу қатынасын мына формула бойынша

$$OSNR = P_{ch} + P_{ASE}, \text{ Б} \quad (3.10)$$

$$OSNR_{\text{MPI-S}} = P_{\text{chMPI-S}} - P_{\text{ASE MPI-S}} = -1,02 - (-30,99) = 29,97 \text{ дБ}$$

$$OSNR_{\text{R1}} = P_{\text{chR1}} - P_{\text{ASE R1}} = -17,52 - (-47,49) = 29,97 \text{ дБ}$$

$$OSNR_{\text{S1}} = P_{\text{chS1}} - P_{\text{ASE S1}} = 0,48 - (-29,49) = 29,97 \text{ дБ}$$

$$OSNR_{\text{MPI-R}} = P_{\text{chMPI-R}} - P_{\text{ASE MPI-R}} = -13,27 - (-43,24) = 29,97 \text{ дБ}$$

Нәтижесінде жүргізілген есептеулер көрсетіп отырғандай, OSNR OS-да MPI-R с 29,97 дБ нормаға сәйкес келеді (12-ден астам ± 5 дБ).

ҚОРЫТЫНДЫ

PON оның қосымшаларымен салыстырғанда жоғары өткізу қабілеті мен қосымша артықшылықтарды ұсына алады. Әрбір абонент үшін арна толқынының бөлінген ұзындығын пайдалана отырып, PON жиі қауіпсіз болып

саналады. WDM-PON, XG-PON артықшылықтары стандарттау, жетілу, құны және энергияны тұтыну болып табылады. Бұл үрдіс XG-PON үйде пайдалануға арналған, ал WDM-PON бизнестің жоғары өткізу қабілеті немесе кері байланыс мәніне тексеріледі. Қызмет көрсету аралығының өзгеру аралығының кері арнада дәстелерді (кадрларды) беруді кідіртудің орташа уақытына әсері ұзақ қатынау процесінің және қызмет көрсету аралығының аз көлемінің болмауына байланысты PON технологиясын пайдалану арқылы қол жеткізіледі.

Сұрағына жауап бере отырып, оптикалық байланыс желілерінде WDM технологиясын пайдалану, бизнес-сервисер әрдайым симметриялы түрде әзірленген, яғни клиенттердің сайттарындағы өткізу қабілетіне қойылатын талаптар және олардан негізінен бірдей болды деп айтуға болады. Керісінше, тұрмыстық пайдаланушылар үшін өткізу жолағына қойылатын талаптар дәстүрлі түрде негізінен бір бағытта - клиентке ұлғайған. Сонымен қатар, операторлар мәліметтерді жоғары бағытта жіберу үшін қолданылатын өткізу жолағының ұлғаюын көре бастайды. Егер бұл өсім жалғасса, өткізу қабілетіне қойылатын талаптар көп ұзамай тұрмыстық тұтынушылар үшін 100 Мбит / с дейін және бизнес-пайдаланушылар үшін 10 Гбит / с артық ұлғаяды деп болжанады. Операторлар өз клиенттерінің талаптарына сәйкес масштабталуы мүмкін технологиялардың көмегімен қол жеткізу желісінің инфрақұрылымын жаңғыртуы қажет. Сонымен қатар, бұл жүйе ITU-T G.989.2 стандарты бойынша талаптарға жауап береді және дұрыс жұмыс істейді. Бірақ, бұл технология жоғары экономикалық бағаға ие болғандықтан, оны енгізу тиімді болмайды. Бұл магистрлік диссертация зерттеу негізінде негізделгендіктен, егер экономикалық бөлім болмаса, онда технологияның өзі жеке пайдаланушылар үшін (user), бизнес кәсіпорын, мемлекеттік мекеме сияқты, қарапайым пайдаланушылар үшін де жоғары жылдамдықты қамтамасыз ету үшін Қазақстан операторларының желісінде орын алып, пайдаланылуы мүмкін. Сондай-ақ шалғай ауылдық жерлерде әрбір абонентке 1гбит/с жылдамдықты қамтамасыз ету.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Оптические мультиплексоры и демультиплексоры систем WDM / Н. Слепов //Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2004. – № 8.2.

2 Лейкосапфир (Al₂O₃). Оптика из сапфира [Электронный ресурс] / Материалы компании «Флюорит». – Режим доступа:

<http://www.fluoride.su/Sapphire1.html>.

3 Былина М. С., Голубев А. С. Анализ возможности применения мультиплексора на отражательной призме по схеме Литтроу для систем CWDM // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. II-я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей / под. ред. С. М. Доценко, сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич, Л. М. Минаков. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч- Бруевича, 2013. - С. 692-695.

4 Шувалов В.П., Фокин В.Г. Оптические сети доступа большого радиуса действия. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 188с.

5 Рекомендации ITU-T G.983.1 (01/2005) Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON) // Международный Союз Электросвязи. Женева, 2005.

6 Iioon Kim. Transmission of 10-Gb/s Directly modulated RSOA Signals in Single-Fiber Loop-back WDM PONs // Photonics Technology Letters. 2011. Vol.23. No. 14. P. 965-967.

7 Hyuk-Choon Known, Young-Yuk Won, Dae-Won Lee, Sang-Kook Han. WDM Passive Optical Network with Simultaneous Wireline/Wireless Downlink Transmission and Wavelength Reuse for Uplink Connection // Transparent Optical Networks. 2007. ICTON 07. 9th International Conference on. P. 9-11.

8 Zaineb Al-Qazwini, Hoon Kim. Symetric 10-Gb/s WDM-PON Using Directly Modulated Lasers for Downlink and RSOAs for Uplink // Journal of Lightwave Technology. 2012. Vol.30. No. 12. P. 1891-1899.

9 Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети: Учебное пособие/ГОУ ВПО «СибГУТИ». - Новосибирск, 2009 г. - 206с.

10 Ipsita Sengupta, Abhirup Das Barman. Analysis of optical re-modulation by multistage modeling of RSOA//Optic. 2014. Vol. 125, Issue 14. P. 3393-3400.

11 Hyun-Soo Kim, Byung-Seok Choi, Ki-Soo Kim, Dong Churl Kim, O- Kyum Known, Dae-Kon Oh. Improvement of modulation bandwidth in multisection RSOA for colorless WDM-PON // Optics Express. Vol. 19. No.19. P. 16372-16378.

12 Qi Guo, An Vu Tran. Performance Enhancement in RSOA-Based WDM Passive Optical Networks Using Level Coding// Journal of Lightwave Technology. 2013. Vol.31. No.1. P. 67-73.

13 Chowdliury P.K. Enhances crosstalk tolerance in RSOA based WDM- PONs by using coded RZ modulation// Optik. 2014. Vol. 125. Issue 14. P. 2959- 2962.

14 <https://optiwave.com/optisystem-overview/> Источник скачивания программной среды Optisystem

15 Dual-LP 11 mode 4x4 MIMO-OFDM transmission over a two-mode fiber/A. Al Amin, A. Li, S. Chen, X. Chen, G. Gao, W. Shieh// Opt. Express. 2011. Vol.19, No. 17. P. 16672–16679.

16 Takahashi H., Oda K., Toba H. Impact of crosstalk in an arrayed- waveguide multiplexer on N x N optical intercorrection// IEEE Journal of Lightwave Tech. 1996. Vol. 14. №6. PP. 1097-1105.

17 ITU-T Recommendation G.652. URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.652-200911-S!!PDF-E&type=items (дата обраще

ния: 28.12.2017)

18 Noshad M., Rostami A. FWM minimization in WDM optical communication systems using the asymmetrical dispersion-managed fibers // *Optik*. 2012. 123, Is. 9. S. 758–760.

19 Горлов Н.И., Микиденко А.В., Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП: Учеб пособие. - Новосибирск: СибГУТИ, 2003. – 230 с.

20 WDM-PON Network: An Efficient Solution for 5G Deployment. [IVY HTFuture](#) Follow. [Aug 12, 2019](#)